

30-04.11/001

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BRAUNSCHWEIG
DIREKTOR: o. PROF. DR.-ING. KARL KORDINA

Untersuchungen über Korrosionsschäden
an Spannstählen im Beton aus Tonerdezement

Bericht erstattet von

Professor Dr.-Ing. K. Kordina

und

Dipl.-Ing. W. Bödeker

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Postfach 101550, 3300 Braunschweig

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrage des
Niedersächsischen Ministers der Finanzen

Az.: - 40 40 30 -

Dieser Bericht besteht aus 3 Teilen.

Veröffentlichungen von Berichten, auch auszugsweise, bedürfen in jedem Falle
der schriftlichen Einwilligung des Instituts.

Teil 1: Untersuchungsbericht TSZ 1

Untersuchungsobjekt: vorgespannte Dachplatten, die in
baulichen Anlagen des Hochofenwerkes
Groß-Ilse ausgebaut wurden.

Der Bericht TSZ 1 umfaßt 9 Blatt und
18 Anlagen.

1. Untersuchungsmaterial

1.1 Probenausbau

Dem Erlaß des Niedersächsischen Ministers der Finanzen - 40 43 25 - vom 18.12.1963 ist ein Verzeichnis beigelegt, in dem jene baulichen Anlagen aufgeführt sind, bei denen unter Verwendung von Tonerdezement hergestellte vorgespannte Dachplatten eingebaut wurden. Nach Absprache zwischen den beteiligten Hochschulinstituten wurde beschlossen, die Untersuchungen über Korrosionsschäden an vorgespannten Dachplatten auf die baulichen Anlagen des Hochofenwerkes Groß Ilsede zu beschränken, da bei den anderen im Verzeichnis genannten Bauten in weit geringerem Umfang und überwiegend zu einem späteren Zeitpunkt Dachplatten eingebaut waren.

Am 11.1.1965 fand eine Besichtigung des Hochofenwerkes statt, um einen allgemeinen Überblick über die in den einzelnen Anlagen eingebauten Dachplatten zu erlangen. Die von Mitarbeitern des Instituts festgestellten Beobachtungen und ergänzende Angaben von Seiten des Hüttenwerkes sind in der Tafel 1 zusammengestellt (siehe Blatt 3).

Von den sechs in der Tafel 1 gekennzeichneten Anlagen wurden je zwei benachbarte Dachplatten von Seiten des Hochofenwerkes ausgebaut und am 2.6.1965 im Institut eingeliefert.

1.2 Beschreibung der eingelieferten Dachplatten

Bei den zu untersuchenden Dachplatten handelt es sich um ~ 62 cm breite und zwischen 1,5 m und 3,0 m lange Kassettenplatten, die von der Spannbeton KG Moers bzw. Hamm hergestellt waren. In Längsrichtung waren die Platten mit Litzen aus je 2 Einzeldrähten von 1,5 mm Durchmesser beschränkt vorgespannt. Die Zugfestigkeit der kaltgezogenen Drähte betrug nach Angaben rund 200 kp/mm^2 . In den ungefähr 55 mm breiten Längsstegen befanden sich jeweils 4 Litzen, der zwischen den Stegen liegende Spiegel enthielt bis zu 7 Litzen. In der Tafel 2 sind die Querschnittsabmessungen angegeben. Die Fotografien auf Tafel 3 zeigen Schnittbilder durch den Längssteg geprüfter Dachplatten. Der Beton war im allgemeinen gut verdichtet. Verwendet wurden Zuschlagstoffe mit einem Größtkorn von ~ 7 mm.

An den Längsseiten der Platten waren Nuten angeordnet, die nach dem Verlegen mit Mörtel ohne Benutzung von Tonerdezement ausgefüllt wurden. Die obere Abdeckung der Dachflächen bestand aus 2 Lagen Dachpappe. Die Platten lagerten auf Stahlpfetten. In wenigen Fällen befand sich unter den Dachplatten noch eine mit Holzwolle-Leichtbauplatten abgehängte, verputzte Decke, sonst waren die freiliegenden Platten an der Unterseite nur geschlämmt (siehe Tafel 1).

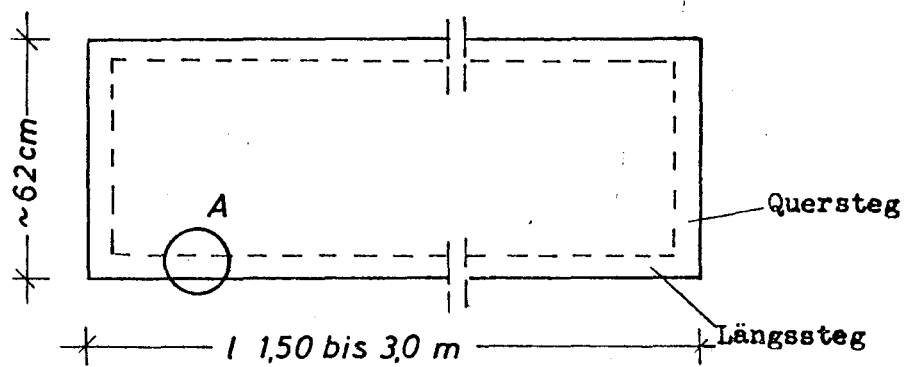
T a f e l 1: Übersicht über die am 11.1.1965 besichtigten baulichen Anlagen

Gebäude	Jahr der Ausführung	eingedeckte Dachfläche	Klima	Stützweite der Platten	Deckenart	Bemerkungen
-	-	m ²	-	m	-	-
Gaszentrale Halle I Halle II Halle III	1951-53	2 790 3 150 1 310	im Betrieb =30 - 40°C jetzt relativ kühl	=2,50 bis =2,70	freiliegend	Seit Mitte 1964 stillgelegt Probenausbau!
Gebläsehaus	1952	548	jetzt kühl u. trocken	=2,50	freiliegend	Seit Mitte 1963 stillgelegt
Hydrophoranlage	1952	102	beheizbar	2,5 bis 3,0	freiliegend	-
Schlosserei	1952	887				
Ferngaskompressoren- anlage	1953	774	trocken u. warm	=2,5	freiliegend	Probenausbau!
Hauptmagazin	1953	954	beheizbar u. trocken	=2,5	freiliegend	-
Vorschaltkraftwerk	1954	1028	warm =25°C	=1,5	freiliegend	Probenausbau!
Pumpenhaus	1953-55	537	warm und trocken	=2,5	freiliegend	-
Waschanstalt	1954	275	Waschküchen- klima	=2,5	verschieden ^{*)}	Probenausbau!
Stellwerkschlosserei	1955	354	beheizbar u. trocken	-	abgehängt	-
Garagen der Verwaltung I	1956	385	beheizbar	=3,0	abgehängt	-

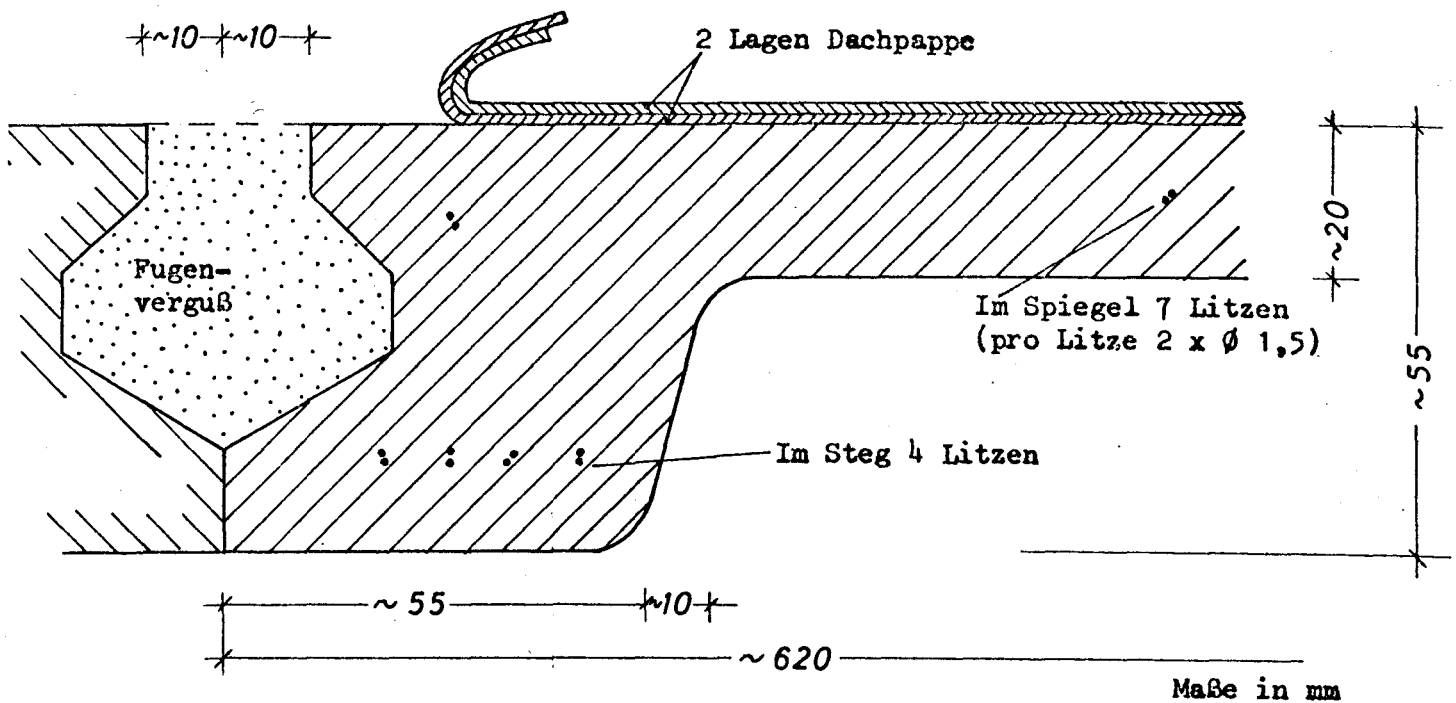
*) in der Putzwollwäscherei freiliegend, sonst abgehängt.

T a f e l 2: Querschnittsabmessungen der Kassettenplatten

Übersicht



Plattenlängssteg (Ferngas kompr.)



Detailpunkt A im Schnitt

M. 1 : 1

T a f e l 3: Schnittbilder der Plattenlängsstege

Bild 1

Schnitt durch den Längs-
steg der in der Ferngas-
kompressorenanlage ent-
nommenen Platte

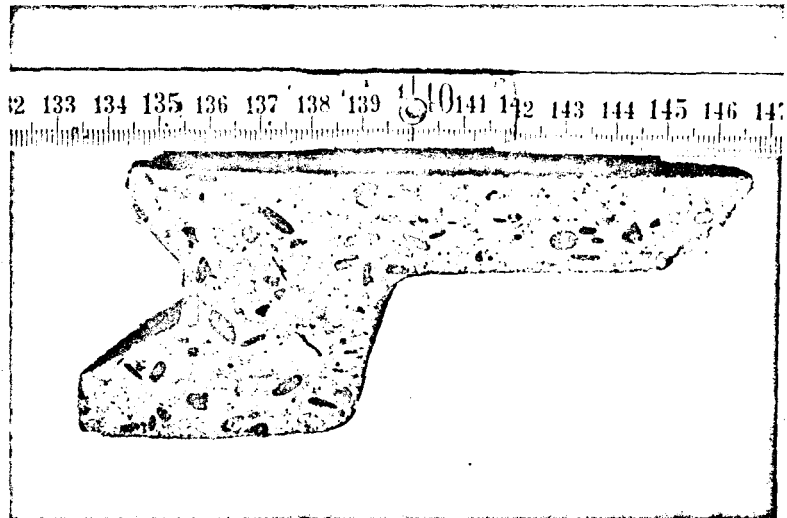
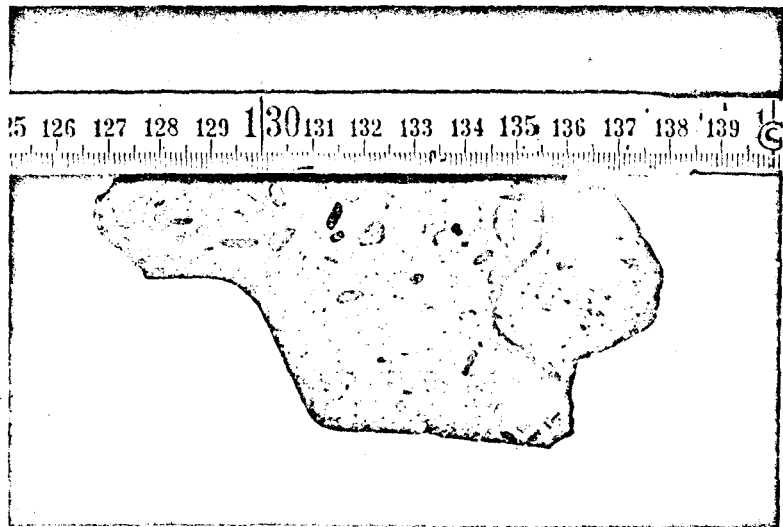


Bild 2

Schnitt durch den Längs-
steg der in der Gas-
zentrale Halle II ent-
nommenen Platte



2. Umfang der Untersuchungen

2.1 Von den in Tafel 4 aufgeführten baulichen Anlagen wurden je zwei benachbarte Kassettenplatten a und b eingeliefert und geprüft.

T a f e l 4

Untersuchungsobjekt	Gebäude	Jahr des Platteneinbaues
1	Gaszentrale Halle I	1951 - 53
2	Gaszentrale Halle II	1951 - 53
3	Gaszentrale Halle III	1951 - 53
4	Ferngaskompressoren-anlage	1953
5	Vorschaltkraftwerk	1954
6	Waschanstalt	1954

2.2 Der Nachweis, daß die Kassettenplatten - wie angegeben - auch tatsächlich unter Verwendung von Tonerdezement hergestellt waren, erfolgte durch Röntgenfeinstrukturuntersuchungen im Institut für Steine und Erden der Bergakademie Clausthal, Technische Hochschule.

Bei diesen Untersuchungen ergab sich, daß der Beton der in der Gaszentrale Halle III entnommenen Platten ohne Verwendung von Tonerdezement hergestellt wurde. Inwieweit sich das auf sämtliche in der Halle III verlegten Platten bezieht, bedarf einer besonderen Klärung.

2.3 An den Platten a wurden von unserem Institut folgende Prüfungen durchgeführt:

1. Tragfähigkeit und Durchbiegung
2. Betondeckung der Spannlitzen
3. Untersuchung der Litzen auf Korrosion, Anrisse und Brüche

4. Hin- und Herbiegeversuch der Litzen

5. Phenolphthalein-Test

Zur Bestimmung der Tragfähigkeit wurden die Platten als Balken auf 2 Stützen gelagert und durch 2 Streifenlasten beansprucht. Die zulässigen Momente wurden aus dem gemessenen Eigengewicht und einer Einzellast von 100 kp an ungünstigster Stelle berechnet, eine Schneebelastung blieb unberücksichtigt. Den so berechneten Momenten sind die Momente infolge der während der Probelastung erreichten Bruchlast gegenübergestellt. Da einige Platten während des Ausbaues und des Transportes beschädigt wurden, konnte die Tragfähigkeitsprüfung nicht an allen Platten erfolgen.

Nach der Bestimmung der Tragfähigkeit wurden die Spannlitzen auf mindestens 50 % ihrer Länge freigelegt und auf Betondeckung und Korrosionserscheinungen untersucht. In drei und mehr gleichmäßig über die Plattenlänge verteilten Querschnitten erfolgte die Prüfung mittels des Phenolphthaleintests (am gebrochenen Beton).

Einzelne Proben wurden im Hin- und Herbiegeversuch nach DIN 52 211 untersucht (Radius der Biegerollen 5 mm).

Die Platten b wurden an mehreren Stellen aufgeschlagen, um die Spannlitzen auf Korrosionsbefall zu untersuchen. Der Grad der Spannstahlschädigung war bei beiden Platten gleich, so daß im folgenden nur die Ergebnisse der Untersuchungen an den Platten a mitgeteilt sind.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungen wurden vom Juli bis Oktober 1965 durchgeführt. Die Ergebnisse sind - geordnet nach den einzelnen Untersuchungsobjekten - in den Anlagen 1 bis 18 zusammengestellt.

Die folgende Tafel 5 gibt eine vergleichende Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse. In der Tafel 6 sind die Fotografien von drei Probestücken wiedergegeben.

T a f e l 5: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse (hierzu Anlagen 1 bis 18)

Untersuchungsobjekt	Einbau- jahr	Bruchsicher- heit V	Untersuchung der 4 Spannlitzen im Steg			Phenolphthaleintest $\frac{b}{a}$
			Korrosion	Brüche/ Anrisse	Hin- und Herbiegezahl	
Gaszentrale Halle I	1951-53	1,5	m - st	B + A zahlreich	1 - 6,5	$\geq 7,5^{++})$
Gaszentrale Halle II	1951-53	2,5	K - m	nein	7 - 24	< 0,35
Gaszentrale Halle III	1951-53	> 2,35	K - st	nein	6 - 19	< 0,85
Röntgenfeinstrukturuntersuchungen: kein Tonerdezement						
Vorschaltkraftwerk	1954	3,5 ⁺)	K - st	nein	17 - 25	< 1,8
Waschanlage	1954	-	st	B + A zahlreich	1 - 8,5	> 3,5 ⁺⁺⁾

⁺) hier Plattenlänge 1,48 m, in den anderen Fällen $l = 2,60$ m.

⁺⁺⁾ stellenweise

Legende: $V = \frac{M_{Br}}{M_{zul}}$ M_{Br} : Bruchmoment M_{zul} : zulässiges Moment (laut Überschlagsrechnung)

a = untere Betondeckung

b = Tiefe der unteren nicht gefärbten Zone (Phenolphthaleintest)

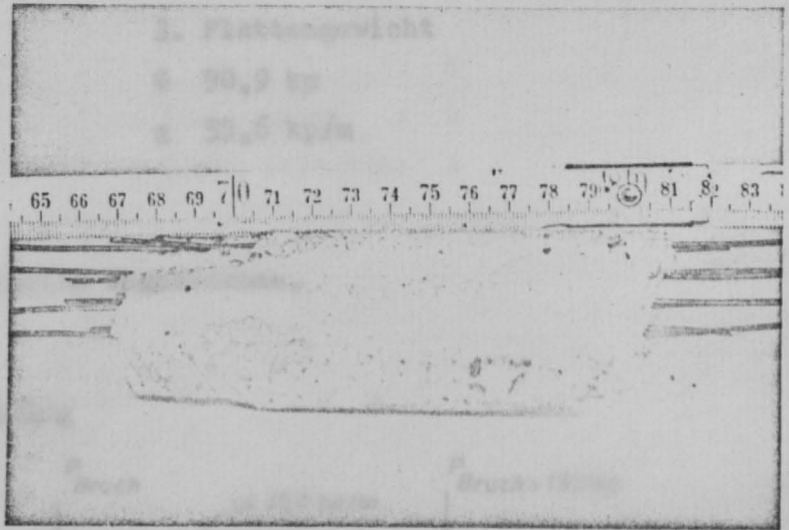
Korrosion: K = keine, l = Leichte, m = mittlere, st = starke

A = angerissener Einzeldraht (Draht teilweise korrodiert)

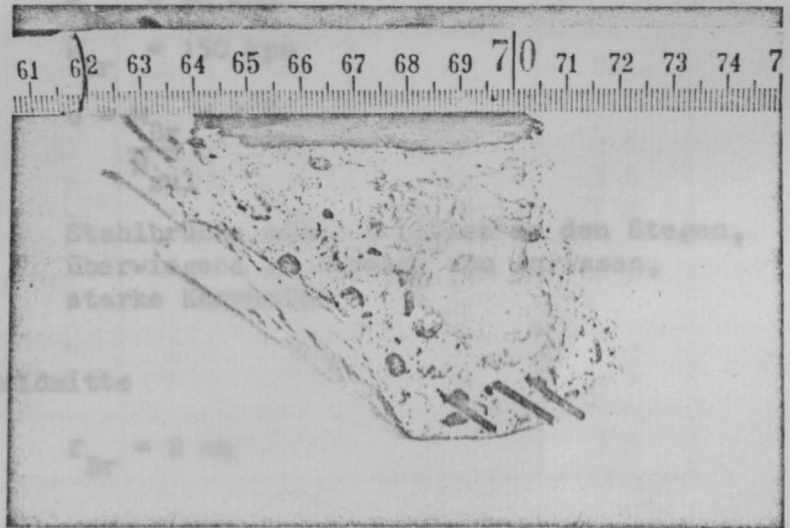
B = gebrochener Einzeldraht (Draht vollständig korrodiert)

T a f e l 6: Fotografien einzelner ProbestückeBild 3Waschanstalt:

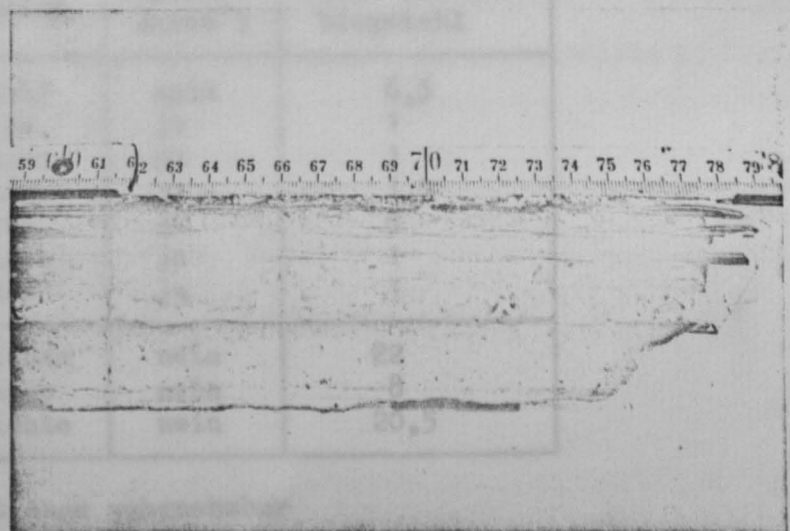
Spanndrähte mit starker
Korrosion, im Bereich von
Anrissen Stahlbrüche nach
dem Hin- und Herbiegen (bei
65,6 und 67,0) außerdem alte
Stahlbrüche (bei 66,2 und 82,5)

Bild 4Gaszentrale Halle I:

im Phenolphthaleintest ver-
färbte Zone, starke Korrosion,
alte Stahlbrüche

Bild 5Gaszentrale Halle II:

Spannlitzen im allgemeinen
ohne Korrosion, nur im Be-
reich porösen Betons (zwi-
schen 70 und 73) starke
Korrosion



Gaszentrale Halle I

1. Platteneinbau: 1951 - 53

3. Plattengewicht

2. Abmessungen der Platte

G 90,9 kp

Länge 2,65 m

g 35,6 kp/m

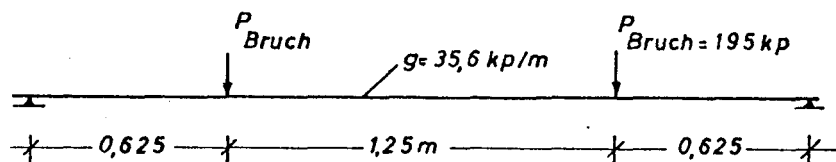
Breite = 62 cm

Steghöhe = 5,5 cm

Die Kanten der Stege waren teilweise abgebrochen.

4. Tragfähigkeitsprüfung

Versuchsanordnung



zulässiges Moment

(laut Überschlagsrechnung)

$$M_{zul} = 98 \text{ kpm}$$

Bruchmoment

$$M_{Br} = 150 \text{ kpm}$$

$$v = \frac{M_{Br}}{M_{zul}} = 1,5$$

Bruchsicherheit

Bruchursache

Stahlbrüche aller 8 Litzen in den Stegen,
überwiegend im Bereich von Anrissen,
starke Korrosion

5. Durchbiegung der Stege in Feldmitte

(Bruchzustand)

$$f_{Br} = 2 \text{ cm}$$

6. Hin- und Herbiegeversuch an Einzeldrähten

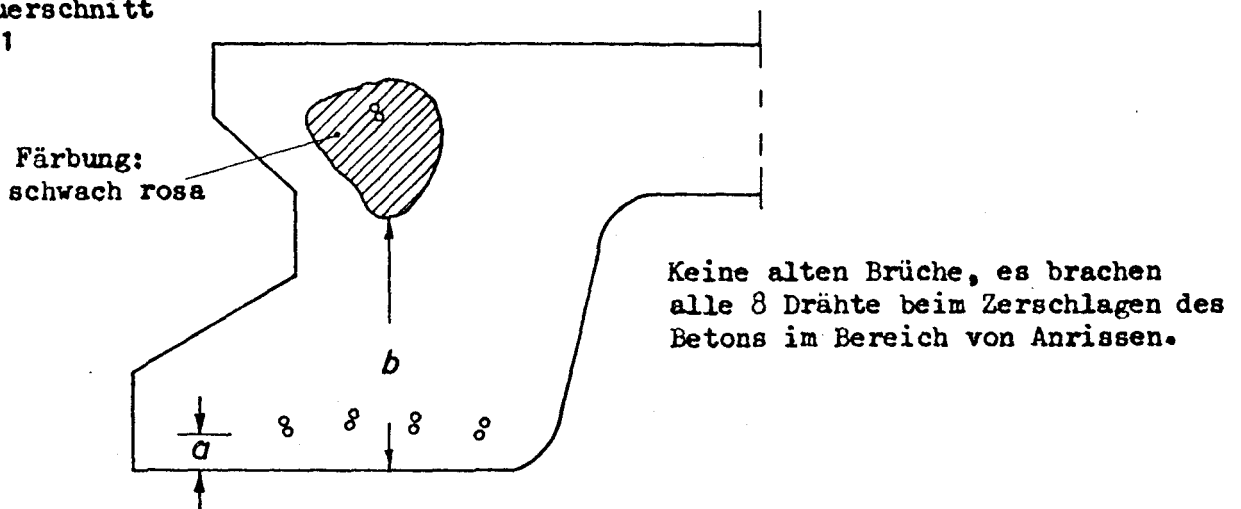
Probe Nr.	Entnahme	Korrosion	alter Anriß ⁺)	Hin- und Herbiegezahl
1	Steg unten	starke	nein	6,5
2		keine	ja	1
3		starke	ja	1
4		starke	ja	1,5
5		keine	ja	5
6		starke	ja	1
7		keine	ja	1
8	Steg oben	leichte	nein	22
9		starke	nein	8
10		leichte	nein	20,5

⁺) soweit mit Auge wahrnehmbar

Gaszentrale Halle I

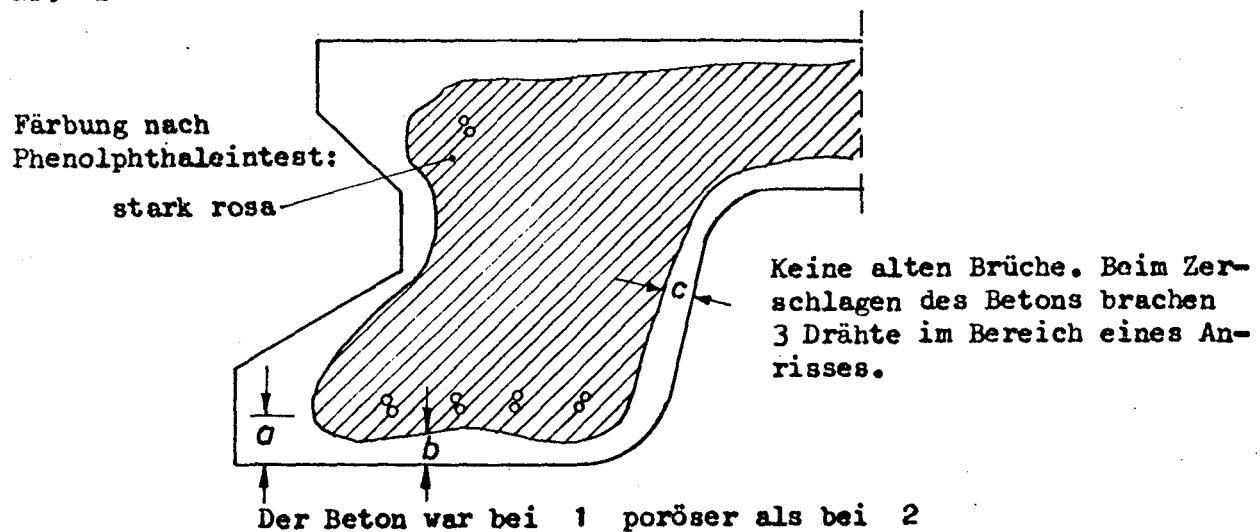
Untersuchung von 2 Querschnitten mit einem gegenseitigen Abstand von 12 cm

1fd.Querschnitt
Nr. 1

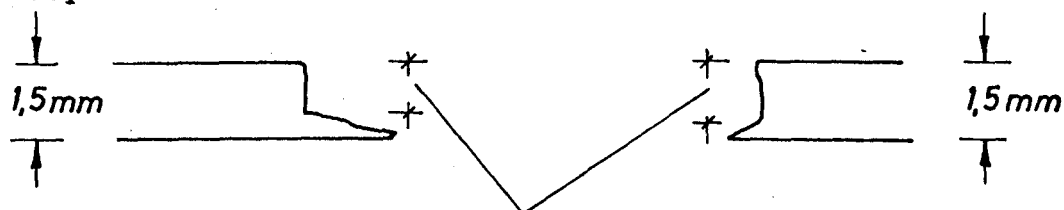


Die Drähte zeigten starken Korrosionsbefall (bei 1 und 2)

1fd.Querschnitt
Nr. 2



Bruchquerschnitte der Drähte mit Anrissen nach Aufschlagen des Betons



Gas zentrale Halle II

1. Platteneinbau: 1951 - 53

3. Plattengewicht

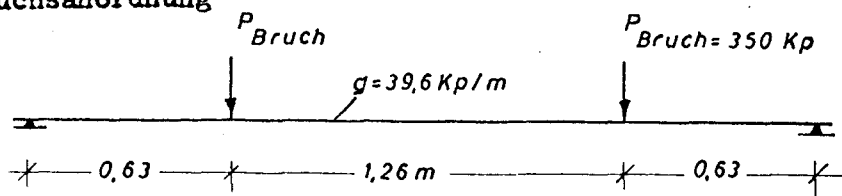
2. Abmessungen der Platte

Länge 2,57 m
 Breite 62 cm
 Steghöhe 5,1 - 5,5 cm

 $G = 101,5 \text{ kp}$ $g = 39,6 \text{ kpm}$

4. Tragfähigkeitsprüfung

Versuchsanordnung



zulässiges Moment
 (laut Überschlagsrechnung)

 $M_{zul} = 100 \text{ kpm}$

Bruchmoment

 $M_{br} = 251 \text{ kpm}$

Bruchsicherheit

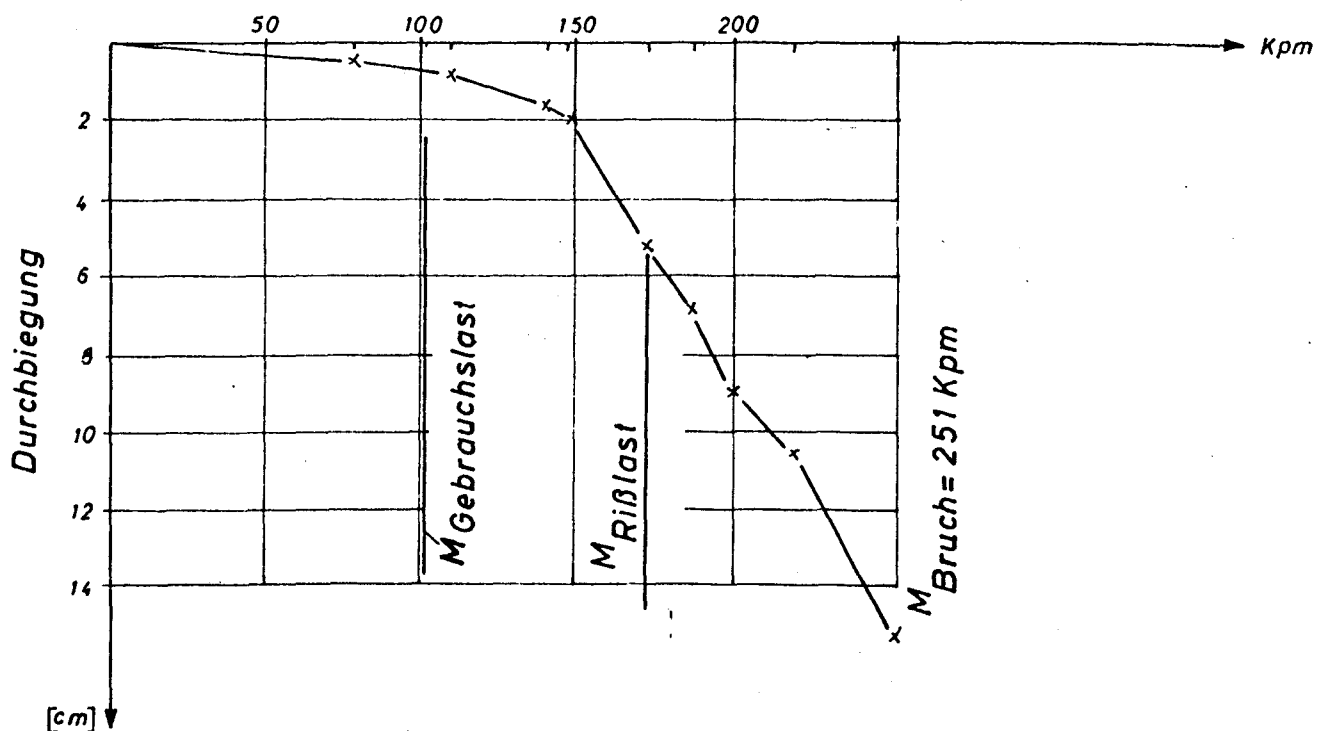
$$u = \frac{M_{Br}}{M_{zul}} = 2,5$$

Bruchursache

Versagen des Betons im Auflagerbereich,
 2 Drähte der insgesamt 8 Litzen gerissen
 (frischer Bruch ohne sichtbaren Anriß).

5. Durchbiegung der Stege in Feldmitte $f_{Br} = 15,3 \text{ cm}$

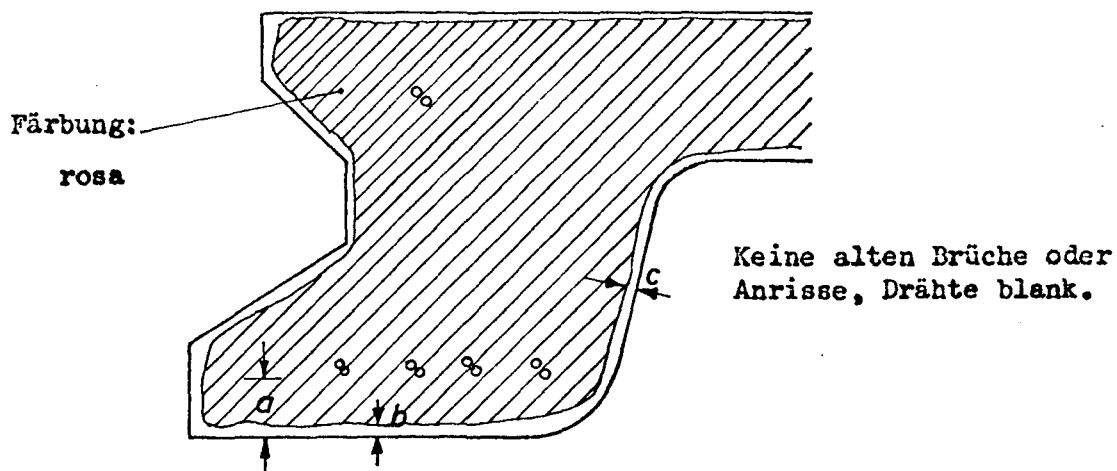
Moment in Feldmitte



Gaszentrale Halle II

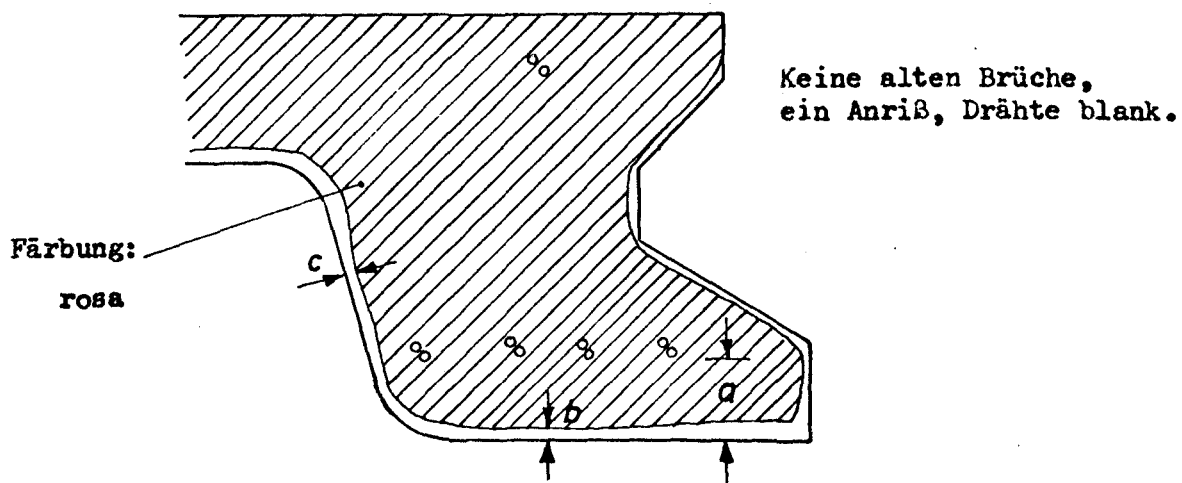
Untersuchung an den Längsstegen eines Querschnittes
(Bruchquerschnitt bei Tragfähigkeitsprüfung)

lfd. Querschnitt
Nr. 3



Während der Belastung rissen ungefähr 50 % der unteren
Drähte, im Bruchquerschnitt konnten bis auf einen Fall
keine Anrisse festgestellt werden

lfd. Querschnitt
Nr. 7



Gaszentrale Halle IIIBefund der Röntgenfeinstrukturuntersuchungen: kein Tonerdezement

1. Platteneinbau: 1951 - 53

3. Plattengewicht

2. Abmessungen der Platte

Länge 2,68 m

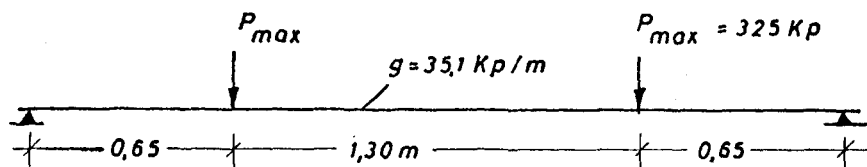
Breite = 62 cm

Steghöhe 4,8 bis 5,7 cm

 $G = 94,0 \text{ kp}$ $g = 35,1 \text{ kp/m}$

4. Tragfähigkeitsprüfung

Versuchsanordnung



Die Belastung wurde bei $P_{\max} = 325 \text{ kp}$ wegen zu großer Durchbiegung abgebrochen.

zulässiges Moment
(laut Überschlagsrechnung)

$$M_{\text{zul}} = 103 \text{ kpm}$$

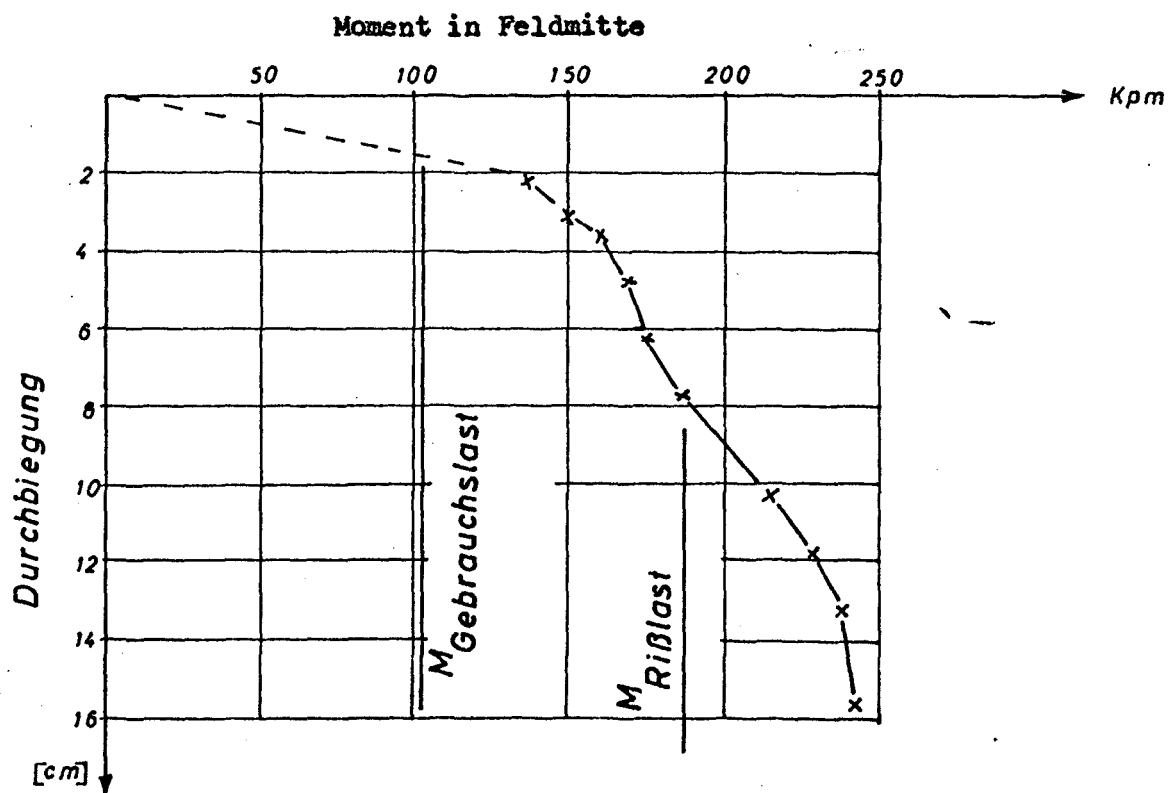
Bruchmoment

$$M_{\text{Br}} > 242 \text{ kpm}$$

Bruchsicherheit

$$v = \frac{M_{\text{Br}}}{M_{\text{zul}}} > 2,35$$

5. Durchbiegung der Stege in Feldmitte



Gaszentrale Halle III

6. Hin- und Herbiegeversuch

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6
Hin- und Herbiegezahl	17,5	19	17	6	19	8
Korrosion	k	k	m	m	l	s

7. Phenolphthaleintest

<u>Legende</u>	untere Betondeckung	:	a
	Tiefe der nicht verfärbten Zone, unten	:	b
	Tiefe der nicht verfärbten Zone, seitlich:		c
Korrosion	keine		k
	leichte		l
	mittlere		m
	starke		s

Untersuchung der Längsstege: Keine Stahlbrüche oder -anrisse

Querschnitt lfd.Nr.	Betondeckung a	nicht verfärbte Zone		$\frac{b}{a}$	Korrosion
		b	c		
1	8	4	5 ⁺)	0,50	k
2	9	4	6	0,45	k
3	10	5	7 ⁺)	0,50	k
4	7	4	6	0,55	k
5	6	5	6 ⁺)	0,85	m
6	12	6	5	0,50	st ⁺⁺)
7	11	7	4	0,65	k
8	8	5	5 ⁺)	0,65	m
9	9	4	5	0,45	l
10	7	5	4	0,70	k
-	≥ 7	-	-	$\leq 0,85$	-

⁺) innere Litze im ungefärbten Bereich⁺⁺) Endbereich der Platte

Untersuchung des Spiegels zwischen den Stegen

Spiegeldicke 1,7 bis 2,3 cm

Litzen größtenteils ohne Korrosion,

jedoch lokal begrenzt starke Korrosion

keine Stahlbrüche oder -anrisse

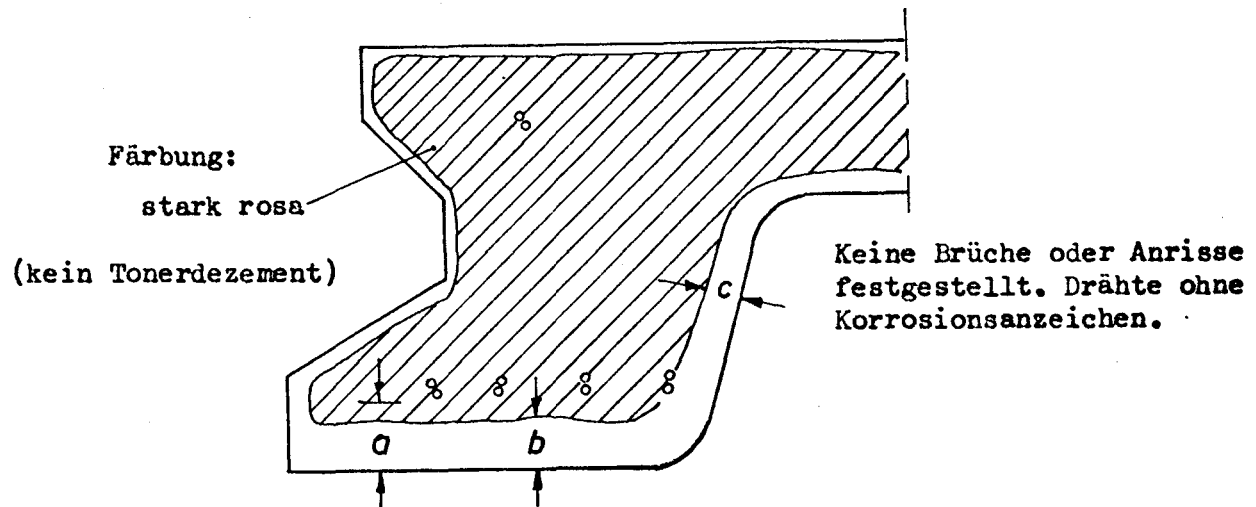
untere Betondeckung a: 8 bis 14 mm

Verhältnis $\frac{b}{a}$: 0,25 bis 0,55

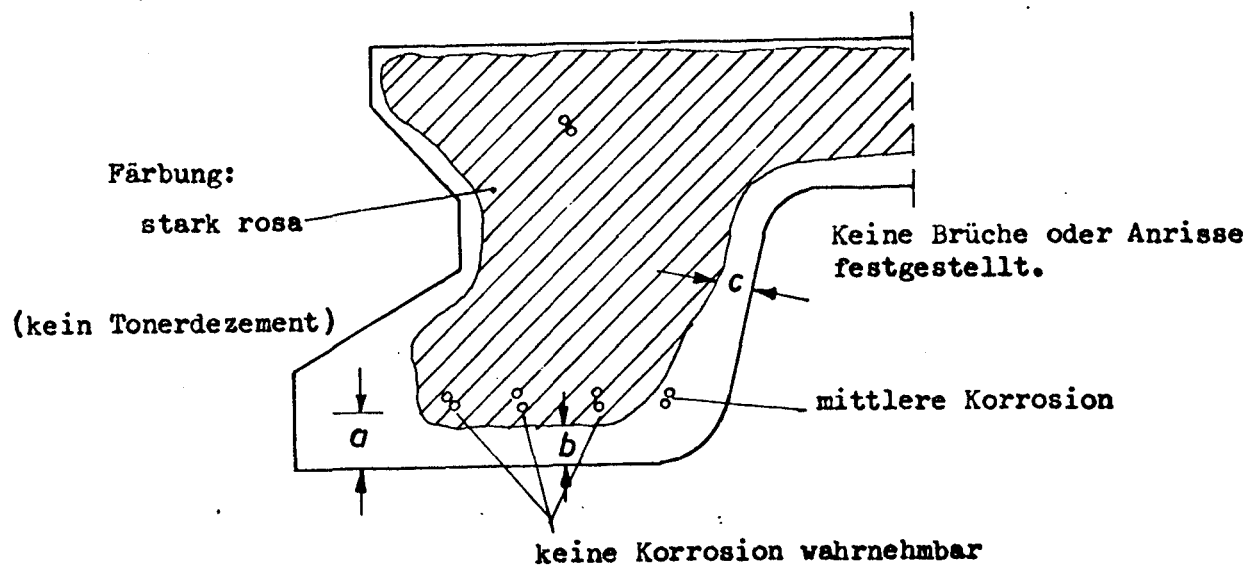
Gaszentrale Halle III

Untersuchung an 2 Querschnitten mit einem gegenseitigen Abstand von 70 cm

lfd. Querschnitt
Nr. 7



lfd. Querschnitt
Nr. 8



Ferngaskompressorenanlage

- | | |
|----------------------------|-------------------|
| 1. Platteneinbau: 1953 | 3. Plattengewicht |
| 2. Abmessungen der Platten | nicht ermittelt |
| Länge = 2,50 m | |
| Breite = 62 cm | |
| Höhe = 5,5 cm | |

4. Tragfähigkeitsprüfung: nicht durchgeführt

Am Anschnitt des Steges an die Platte war der Beton auf ganzer Plattenlänge gerissen (offensichtlich Beschädigung beim Ausbau).

5. Durchbiegung: nicht ermittelt

- ## 6. Hin- und Herbiegeversuch an Einzeldrähten

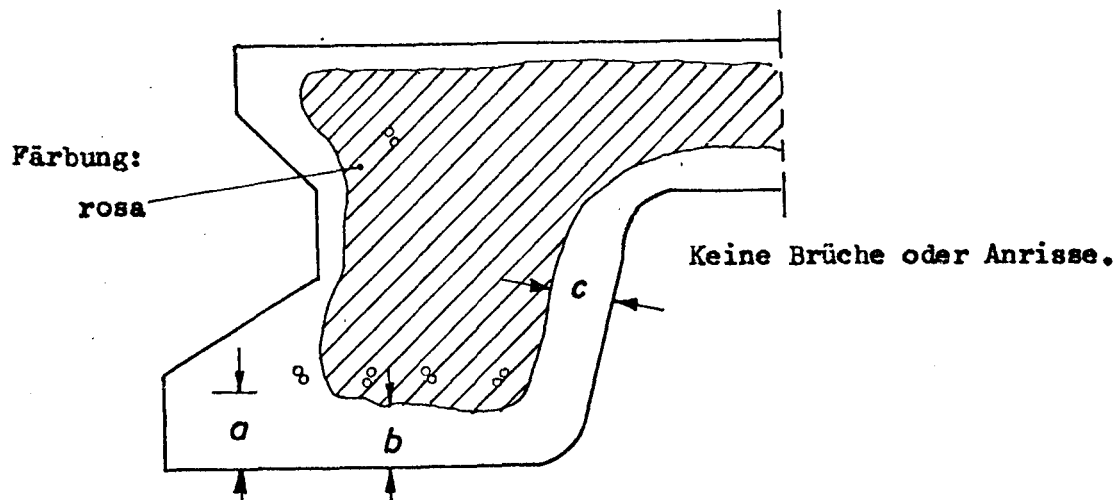
Probe Nr.	Entnahme	Korrosion	Hin- und Herbiegezahl (+)
1	Steg unten	keine	14
2		bis	16
3		mittlere	23
4			17
5			9
6	Steg oben	leicht	29
7			19,5

+) mit bloßem Auge konnten keine alten Anrisse festgestellt werden

Ferngaskompressoranlage

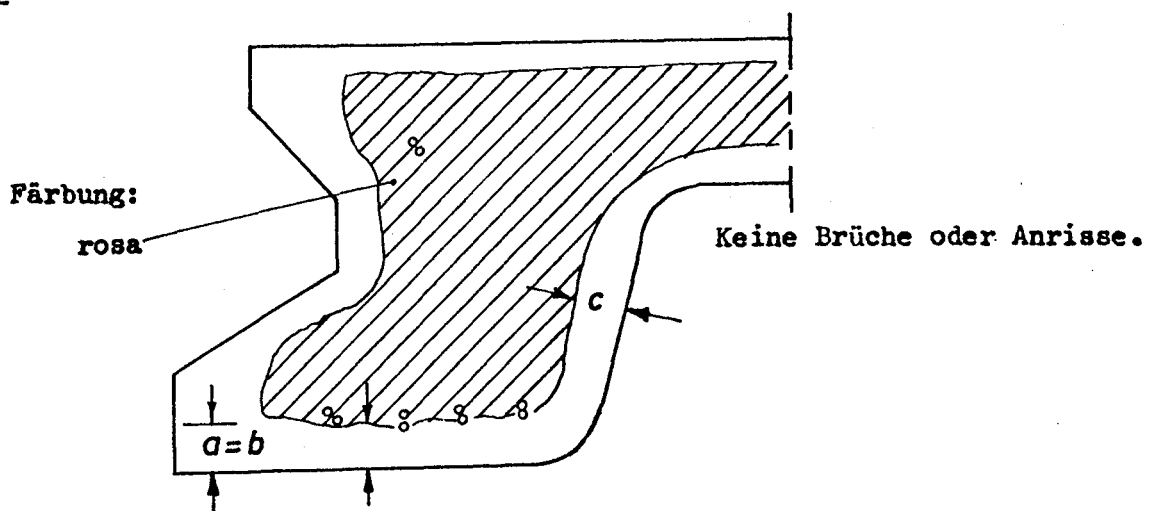
Untersuchung an 2 Querschnitten mit einem gegenseitigen Abstand von ≈ 50 cm

1fd. Querschnitt
Nr. 1



Die Unterseite der Drähte war stark, die Oberseite
durchweg nur leicht korrodiert

1fd. Querschnitt
Nr. 2



V o r s c h a l t k r a f t w e r k

1. Platteneinbau: 1954

3. Plattengewicht

2. Abmessungen der Platte

Länge 1,48 m

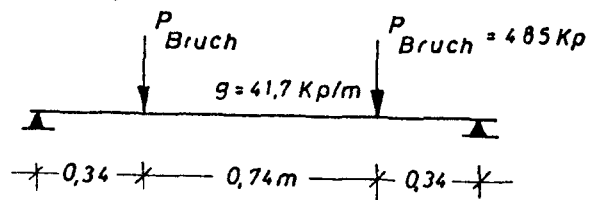
Breite = 62 cm

Höhe 5,5 bis 5,7 cm

 $G = 61,9 \text{ kp}$ $g = 41,7 \text{ kp/m}$

4. Tragfähigkeitsprüfung

Versuchsanordnung

zulässiges Moment
(laut Überschlagsrechnung) $M_{zul} = 50 \text{ kpm}$

Bruchmoment

 $M_{Br} = 176 \text{ kpm}$

Bruchsicherheit

 $u = \frac{M_{Br}}{M_{zul}} = 3,5$

Bruchursache

Versagen des Betons im Auflagerbereich

5. Durchbiegung der Stege in Feldmitte

(Bruchzustand) $f_{Br} = 3,5 \text{ cm}$

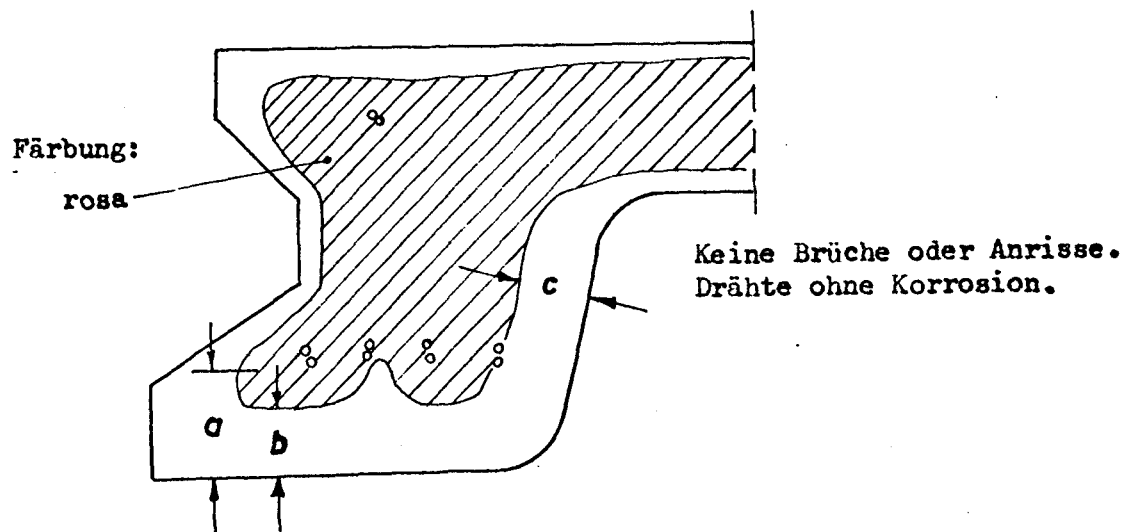
6. Hin- und Herbiegeversuch an Einzeldrähten

Probe Nr.	Entnahme	Korrosion	Hin- und Herbiegeversuch
1	Steg	keine	25
2	unten	leichte	17
3		keine	17

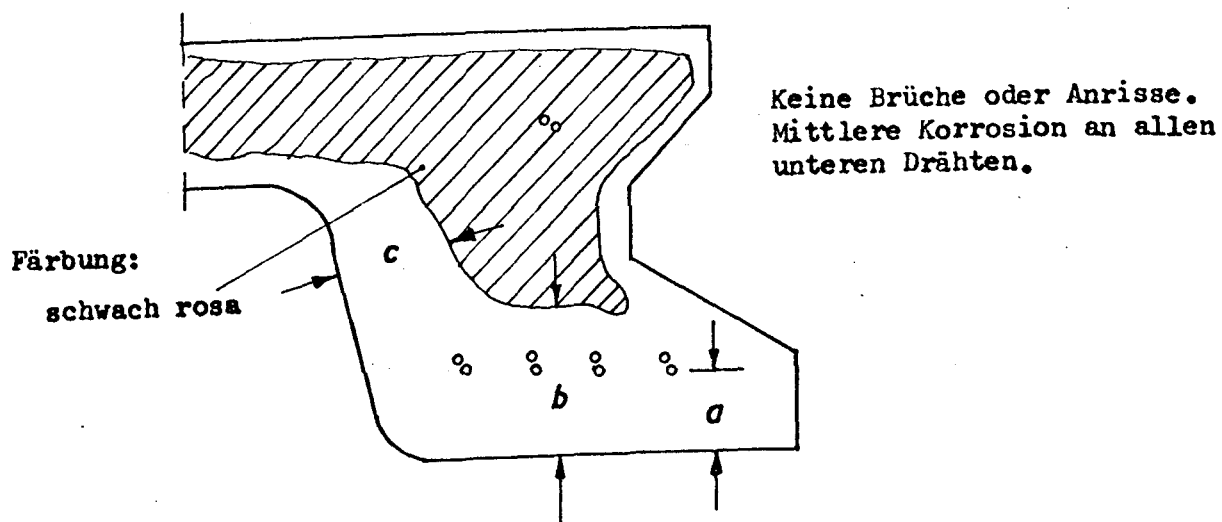
Vorschaltkraftwerk

Untersuchung an den Längstegen eines Querschnittes

1fd. Querschnitt
Nr. 1



1fd. Querschnitt
Nr. 2



W a s c h a n s t a l t

1. Platteneinbau: 1954
2. Abmessungen der Platte
- Länge = 2,5 m
Breite = 62 cm
Steghöhe = 5,5 cm
3. Plattengewicht
nicht festgestellt
4. Tragfähigkeitsprüfung: nicht durchgeführt
Bei der Einlieferung waren die Platten beschädigt:
Platte a: Stege entlang der Spannlitzen gerissen
Platte b: Bruch des Spiegels
5. Durchbiegung: nicht ermittelt
6. Hin- und Herbiegeversuch

Probe Nr.	Entnahme	Korrosion	alter Anriß ⁺)	Hin- und Herbiegezahl
1	Steg unten	durchweg starke	in jedem Falle	3
2				1,5
3				2,5
4				4,5
5				8,5
6				6
7				1,5
8	Spiegel			5
9				1
10				6,5

⁺) soweit mit dem Auge wahrnehmbar

W a s c h a n s t a l t

7. Phenolphthaleintest

<u>Legende</u>	untere Betondeckung	:	a
	Tiefe der nicht verfärbten Zone, unten	:	b
	Tiefe der nicht verfärbten Zone, seitlich:		c
	Korrosion	leichtere	l
		mittlere	m
		starke	st
	angerissener Einzeldraht		A
	gebrochener Einzeldraht		B

Untersuchung der Längsstege (im Bereich der untenliegenden Litzen)

Querschnitt lfd.Nr.	Betondeckung a	nicht verfärbte Zone		$\frac{b}{a}$	Korrosion	Brüche Anrisse
-	mm	b mm	c mm	-	-	-
1	10	13	8	1,3	in jedem Fall stark	2 A, 4 B
2	9	11	6	1,2		1 A, 4 B
3	8	8	12	1,0		5 A, 2 B
4 +)	8	30	20	3,75		7 A, 1 B
5 +)	9	35	=40	3,9		1 A, 5 B
6	9	20	=15	2,2		4 A, 4 B
7 +)	10	10	=40	1,0		1 A, 4 B
8	11	17	=10	1,55		3 A, 3 B
9	11	11	=10	1,0		6 A, -
10	14	12	8	0,85		1 A, -
11	12	18	=20	1,5		2 A, -
12	12	12	11	1,0		3 A, -
13	-	-	-	-		4 A, 2 B
14 +)	12	40	=40	3,35		5 A, 3 B
15	10	15	14	1,5		6 A, 2 B
-	≥ 8	-	-	≤ 3,9	-	-

+) im Innern nur schwach gefärbt

Untersuchung des Spiegels zwischen den Stegen (7 Querschnitte)

Spiegeldicke 21 bis 26 mm
mittlere bis starke Korrosion
3 Brüche und 3 Anrisse bei 7 untersuchten Stellen
(14 Drahtquerschnitte)

untere Betondeckung: 6 bis 12 mm

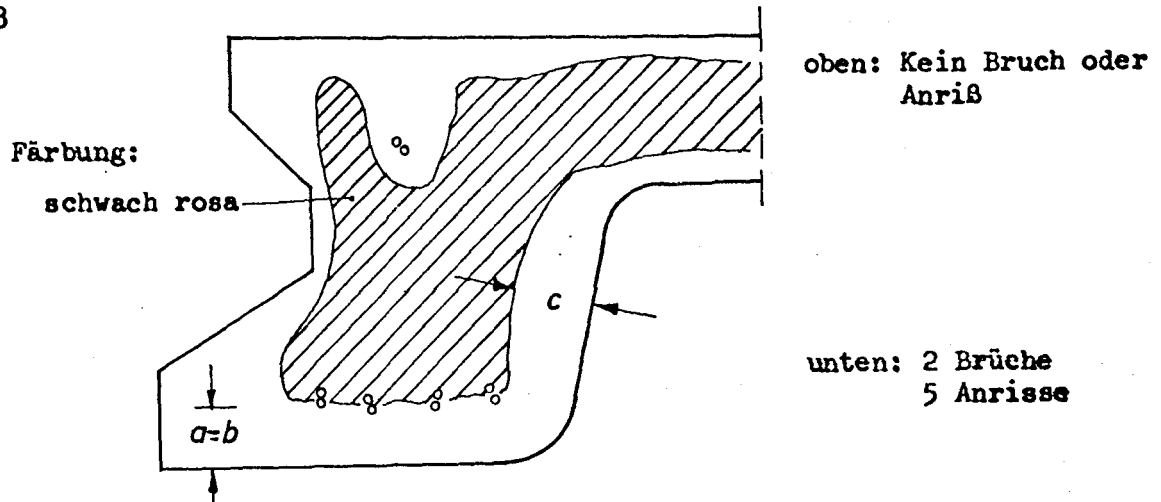
Verhältnis $\frac{b}{a}$: 1,0 bis 2,2

Waschanstalt

Untersuchung an zwei Querschnitten mit einem gegenseitigen Abstand von 85 cm

lfd. Querschnitt

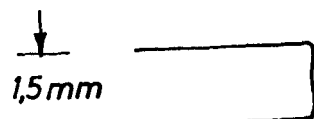
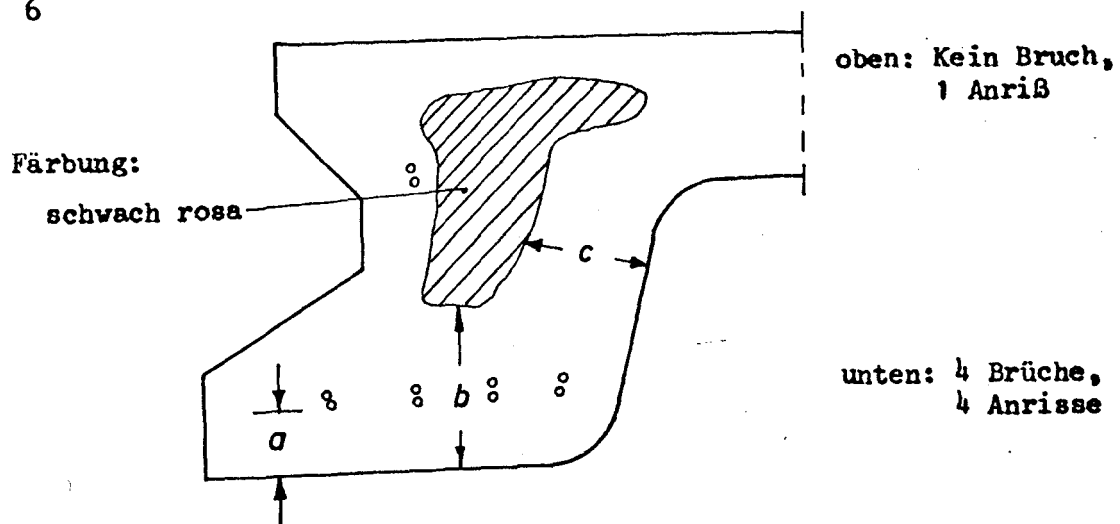
Nr. 3



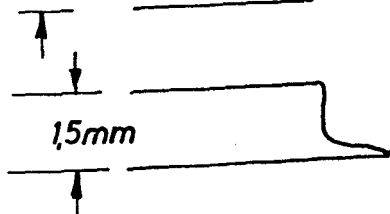
für 3 und 6 : die Drähte zeigten starke Korrosion

lfd. Querschnitt

Nr. 6



Bruchquerschnitt eines Drahtes
(alter Bruch)



Bruchquerschnitt im Bereich eines
Anrisses nach Hin- und Herbiege-
versuch

Teil 2: Untersuchungsbericht TSZ 2

Untersuchungsobjekt: Spannbetonträger zur Montagedecke
"Hamm", die in der "Hagenschönke",
Braunschweig, ausgebaut wurden.

Der Bericht TSZ 2 umfaßt 7 Blatt und
5 Anlagen.

1. Untersuchungsmaterial

1.1 Probeentnahme für die Untersuchung

In dem Gebäude "Hagenschänke", Braunschweig, Hagenmarkt, wurden im Jahre 1956 Spannbeton-Montagedecken "Hamm" eingebaut. Wie aus dem Verzeichnis zum Erlaß des Niedersächsischen Ministers der Finanzen - 40 43 25 - vom 16.4.1963 hervorgeht, waren die vorgespannten Deckenträger unter Verwendung von Tonerdezement hergestellt worden. Auf Antrag des Bauordnungsamtes der Stadt Braunschweig prüften im September 1963 Mitarbeiter des Instituts Stichprobenweise nach, inwieweit die eingebauten Spannlitzen durch Korrosion geschädigt waren. Im März 1965 wurden während des Abbruches des Gebäudes 2 Deckenträger im Erdgeschoß ausgebaut und im Rahmen der Untersuchungen über Korrosionsschäden an Spannstählen im Beton aus Tonerdezement geprüft.

1.2 Beschreibung des Bauwerkes und der Deckenträger

Im Erdgeschoß des abgerissenen Gebäudes befanden sich ein Gastraum, ein Flur, ein Klubraum und die Küche, im I. Obergeschoß Klubräume. Während der Besichtigung im September 1963 wurden folgende Feuchtigkeitsverhältnisse festgestellt:

Klubräume : normal

Küche und Flur: sehr feucht

Nach Angaben aus der statischen Berechnung und der Bauakte wurden Einfach-, Doppel- und Dreifachrippen der der Spannbeton-Montage-decke "Hamm" Typ 18 eingebaut. Die Zwischendecke erhielt an der Unterseite einen Kalkputz.

Die Spannweiten der Deckenträger lagen zwischen 3,22 und 6,35 m.

Ein Querschnitt durch die Erdgeschoßdecke im Bereich der Küche und des Klubraumes ist in der Tafel 1 wiedergegeben.

T a f e l 1

siehe folgendes Blatt

T a f e l 1

Erdgeschoßdecke über Küche/Klubraum

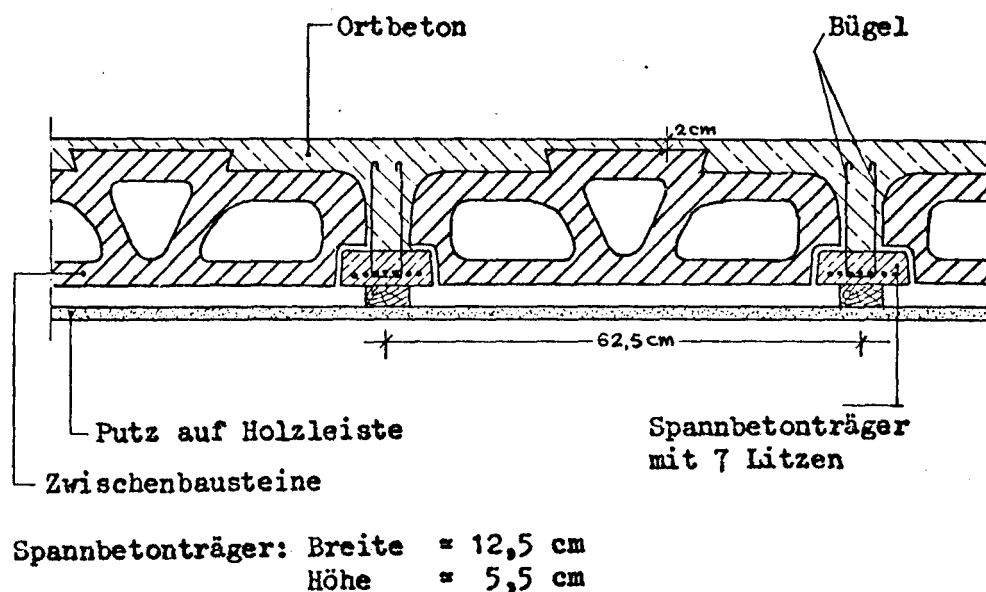
Rippenabstand 0,625 m

pro Rippenträger 7 Litzen à 3 Ø 2,5 mm

Deckenhöhe ≈ 20 cm (bis 2 cm Aufbeton)

Nutzlast	150 kp/m ²
Rohgewicht der Decke	200 "
Rohrgewebe, Putz, Belag	80 "
2 cm Aufbeton	30 "

$$g = 460 \text{ kp/m}^2$$

2. Umfang der Untersuchungen2.1 Stichprobenweise Untersuchung im September 1963

An 9 Stellen im Erdgeschoß und 3 Stellen im Obergeschoß wurde die Betonüberdeckung der Spannlitzen auf ≈ 5 cm Länge abgeschlagen; die frischen Bruchflächen wurden mit Phenolphthalein besprüht.

2.2 Untersuchungen an zwei ausgebauten Trägern im August/September 1965

Der Nachweis, daß die Spannbetonträger "Hamm" unter Verwendung von Tonerdezement hergestellt waren, wurde durch Röntgenfeinstrukturuntersuchungen im Institut für Steine und Erden der Bergakademie Clausthal - Technische Hochschule - erbracht.

Folgende Prüfungen wurden von unserem Institut durchgeführt:

1. Tragfähigkeit und Durchbiegung (nur beim Träger über der Küche).
2. Betondeckung der Spannlitzen.
3. Untersuchung der Litzen auf sichtbare Korrosionserscheinungen, Anrisse und Brüche.
4. Hin- und Herbiegeversuch der Litzen.
5. Phenolphthaleintest.

Zur Bestimmung der Tragfähigkeit wurde der Träger als Balken auf zwei Stützen gelagert und durch Streifenlasten in den äußeren Viertelpunkten beansprucht. Das zulässige Moment laut Überschlagsrechnung wurde dem im Versuch ermittelten Bruchmoment gegenübergestellt.

Die Spannlitzen wurden auf mindestens 50 % ihrer Länge freigelegt und auf Korrosion untersucht; in 10 über die Trägerlänge verteilten Querschnittsbruchflächen erfolgte die Phenolphthaleinbehandlung und die Bestimmung der Betondeckung. Einzelne Litzenstücke - ohne und mit starker Korrosion - wurden im Hin- und Herbiegeversuch untersucht, um eventuell Anrisse oder eine Versprödung des Stahles aufzuspüren.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Stichprobenweise Untersuchung im September 1963

Bei den in der Tafel 2 untersuchten Stellen wurden die Spannlitzen jeweils auf ≈ 5 cm Länge freigelegt.

T a f e l 2

Einbau im Jahre 1956		
untere Betondeckung 16 bis 21 mm		
an den Spannlitzen wurde keine Korrosion bemerkt		
R a u m	Zahl der Prüf- stellen	Tiefe der nicht verfärbten Zone(b) bezogen auf die untere Betondeckung (a)
-	-	b/a
Gastraum Erdgeschoß	4	0,5 - 1,0
Küche Erdgeschoß	2	0,8 - 0,9
Flur Erdgeschoß	1	0,7
Klubraum Erdgeschoß	2	0,35 - 0,55
Klubraum I. Obergeschoß	3	0,2 - 0,5

3.2 Untersuchungen an zwei ausgebauten Trägern im August/September 1965

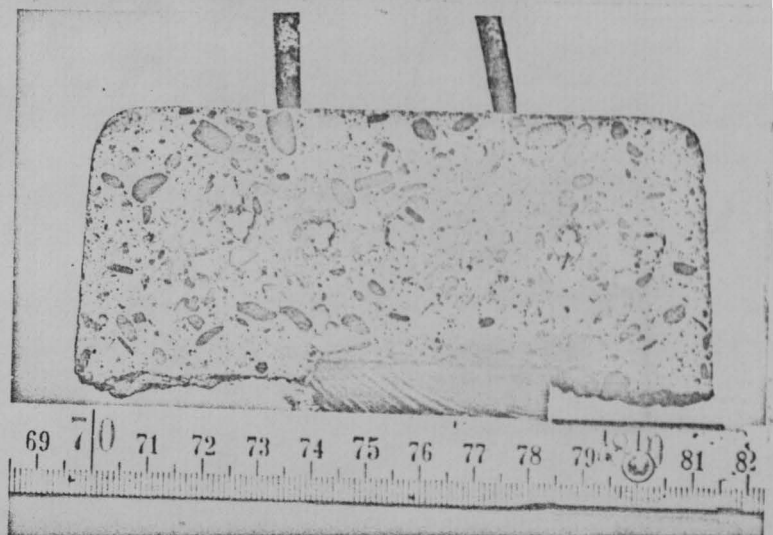
Der über der Küche ausgebauter Deckenstreifen hatte bei der Tragfähigkeitsprüfung eine Bruchsicherheit von 2,2. Die tatsächlich vorhandene Bruchsicherheit liegt höher, da die Breite der Druckzone während des Versuches kleiner war als die im Bauwerk wirkende anteilige Breite. Die Spannlitzen im Bruchquerschnitt des Trägers waren unversehrt. Anrisse am Spanndraht ließen sich nicht feststellen.

Die Tafel 3 gibt eine kurze Zusammenfassung der im einzelnen in den Anlagen 1 bis 5 aufgeführten Untersuchungsergebnisse.

T a f e l 4: Träger über dem Klubraum (Erdgeschoß)Bild 1:

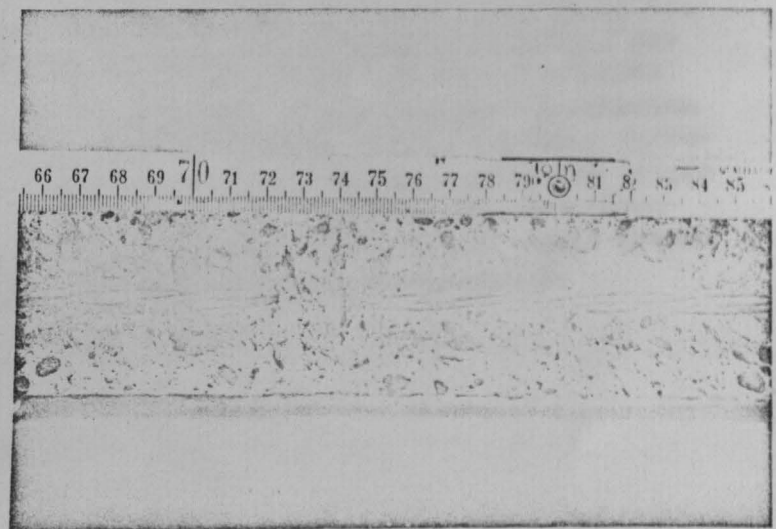
Querschnitt des Trägers:

Bügel oberhalb des Trägers
stark angerostet, äußere
Litzen liegen nicht mehr im
gefärbten Bereich
(Sägeschnitt!).

Bild 2:

Bruchfläche entlang einer
Litze nach dem Phenol-
phthaleintest:

im Bereich des Bügels (bei
74) und des von unten einge-
schlagenen Nagels (bei 72,5)
liegt die Litze nicht mehr
im gefärbten Bereich.



T a f e l 3

Untersuchter Träger	Tiefe der nicht verfärbten Zone (b bzw. d) bezogen auf die Beton- deckung ⁺⁾		Korrosion an den Litzen
	von unten (a)	seitlich (c)	
-	b/a	d/c	-
Küche	0,6 - 4,2	1,0 - 1,5	keine bis starke
Klubraum Erdgeschoß	0,25 - 2,25	0,55 - 1,0	keine bis starke

⁺⁾ siehe Anlagen 2 und 4

Stahlbrüche oder -anrisse wurden nicht festgestellt. Ob die Korrosion zu einer Versprödung des Stahles geführt hat, konnte im Hin- und Herbiegeversuch nicht eindeutige geklärt werden.

Der Beton war im allgemeinen gut verdichtet (siehe Bild 1, Tafel 4). Dagegen konnten im Bereich der eingeschlagenen Holzleistennägel poröse Stellen bemerkt werden, die offensichtlich dadurch entstanden waren, daß die Holzleisten mit den Nägeln in den steifen Frischbeton gedrückt wurden, während sonst nur die äußeren Litzen stärkere Korrosion zeigten, wiesen an den Kontaktstellen zwischen Nägeln und Litzen auch die innenliegenden Litzen starke Korrosion auf. Die mittleren 3 Litzen waren von den Bügeln umschlossen. Sofern diese Bügel Litzen berührten, wurde dort starker Korrosionsbefall festgestellt.

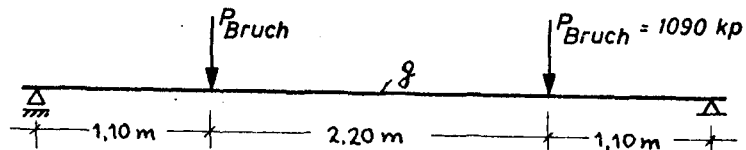
1. Allgemeines

Träger über der Küche

Einbau 1956 - Ausbau 1965

Trägerlänge 4,45 m; Träger-Typ 18, 7 Litzen
Deckelplatte = 20 cm (2 cm Aufbeton)2. Tragfähigkeitsprüfung: Der mit dem Träger ausgebaute Deckenstreifen hatte eine mittlere Breite von 16 cm.

Versuchsanordnung:

zulässiges Moment
(laut Überschlagsrechnung)

$$M_{zul} \text{ pro Träger} = 595 \text{ kpm}$$

Bruchmoment

$$M_{Bruch} = 1300 \text{ kpm}$$

Bruchsicherheit

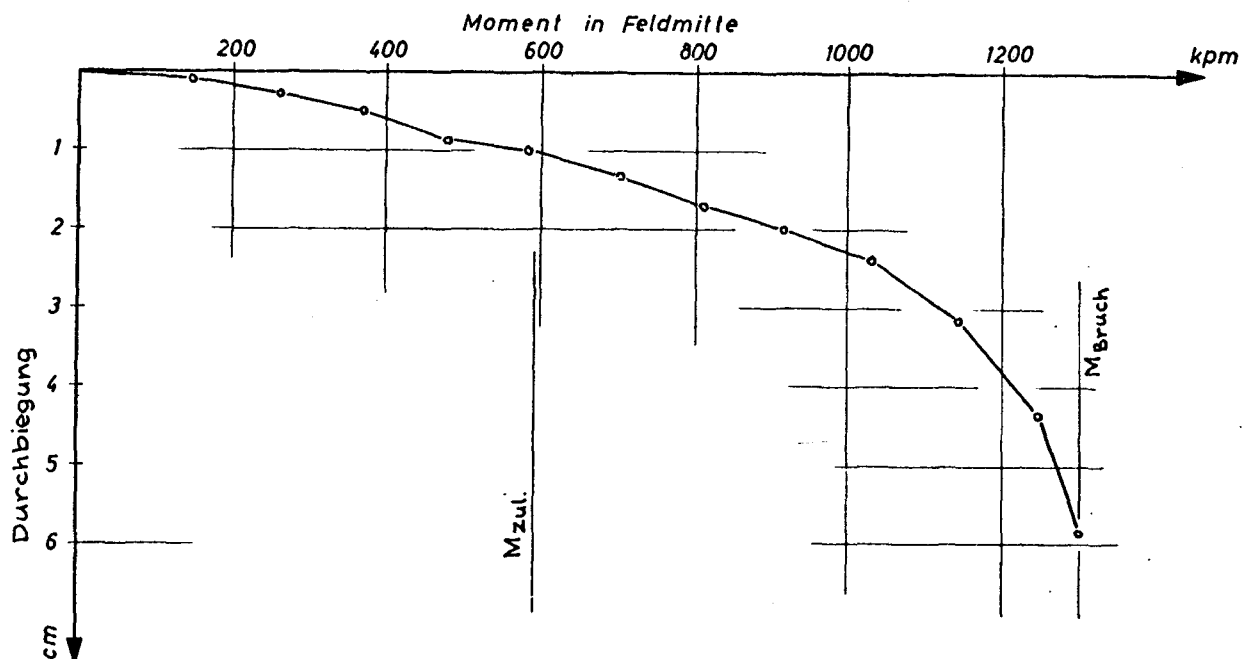
$$v = \frac{M_{Bruch}}{M_{Träger}} = 2,2$$

Bruchursache

Versagen der Betondruckzone im Bereich der Lasteinleitung

3. Durchbiegung in Feldmitte:

$$f_{Bruch} = 5,8 \text{ cm}$$

4. Hin- und Herbiegeversuch (Radius des Biegezyllinders 5 mm)

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Korrosionsgrad *	st	k	st	st	k	k	st	k	st
Hin- und Herbiegezahl	10,5	17,5	7	7	9	10	8,5	9	9

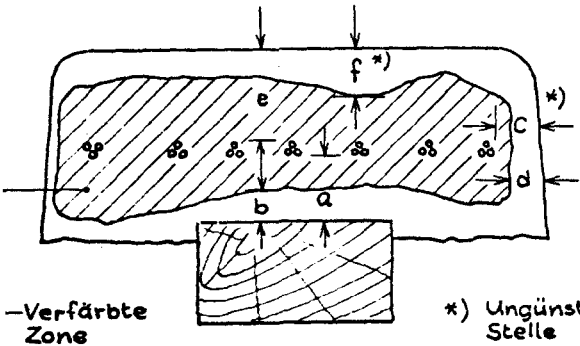
* keine Korrosion: k ; starke Korrosion: st

5. Phenolphthaleintest: Untersuchung an 10 Querschnitt / Träger über der Küche

Querschnitt lfd.Nr.	Korrosion an den Litzen	Betondeckung			Tiefe der nicht verfärbten Zone					
		a	c	e	b	$\frac{b}{a}$	d	$\frac{d}{c}$	f	$\frac{f}{e}$
-	-	mm	mm	mm	mm	-	mm	-	mm	-
1	inneren 3 Litzen st +)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	alle Litzen m - st	20	9	26	17	0,85	9	1,0	12	0,45
3	alle Litzen m	22	10	18	21	0,95	10	1,0	8	0,45
4	alle Litzen l - m	16	11	27	15	0,95	11	1,0	6	0,2
5	beide äußeren Litzen st	20	8	25	17	0,85	10	1,2	16	0,65
6	alle Litzen l	23	9	15	23	1,00	9	1,0	13	0,85
7	inneren 3 Litzen st	19	8	19	11	0,6	8	1,0	23	1,2
8	alle Litzen l	19	8	20	10	0,55	12	1,5	19	0,95
9	alle Litzen m - st +)	11	8	18	46	4,2	8	1,0	46	2,6
10	alle Litzen l	8	10	18	19	2,4	10	1,0	11	0,6
-	-	>8	-	-	-	≤4,2	-	≤1,5	-	-

+) Kontaktstelle zwischen Bügel/Litze oder Holzleistennagel/Litze

Legende



	Beton- deckung	Tiefe der nicht verfärbten Zone
unten	a	b
steilich	c	d
oben	e	f

Korrosion:

Keine : k
leichte : l
mittlere: m
starke : st

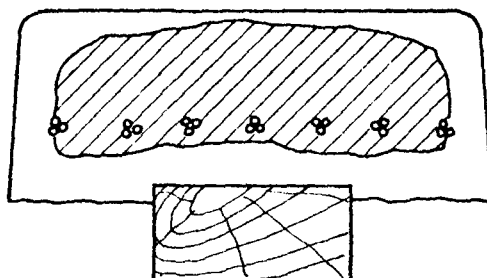
Träger über der Küche

Untersuchung einzelner Querschnitte, M. 1 : 2 (Phenolphthaleintest)

Querschnitt
lfd.Nr.

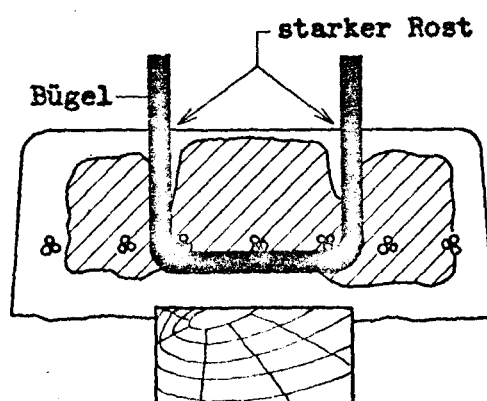
4

65 cm

an allen Litzen
leichte bis mitt-
lere Korrosion

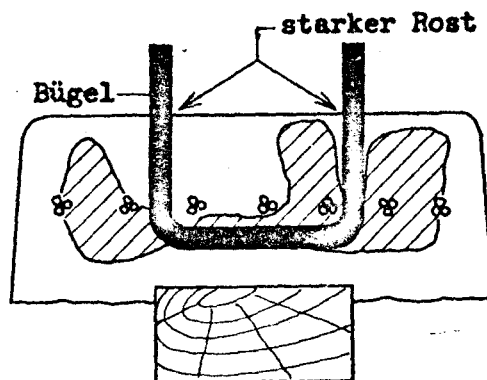
5

85 cm

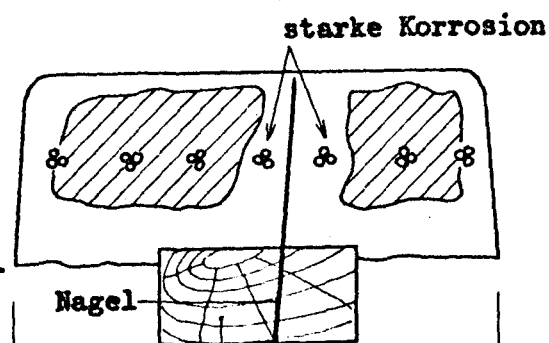
an den beiden äußeren
Litzen starke Korrosionan den inneren Litzen
keine Korrosion

7

110 cm

an den 3 mittleren
Litzen starke Korrosion

9

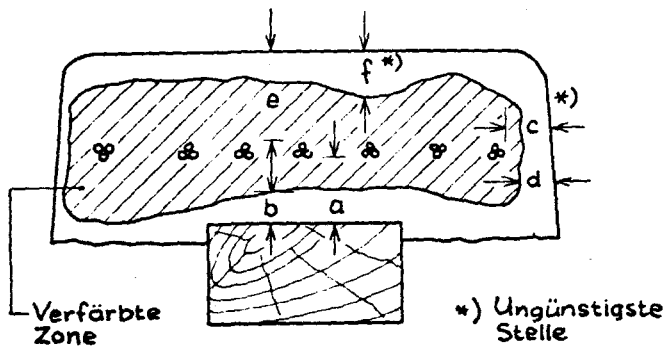
äußere Litzen mittlere
KorrosionBeton im Bereich des
Nagels porösFärbung der schraffier-
ten Zonen: rosaHolzleiste ~50 x 24 mm²
~ 12,5 cm

Phenolphthaleintest: Untersuchung an 10 Querschnitten / Träger über dem Klubraum (Erdgeschoß)

Querschnitt lfd.Nr.	Korrosion an den Litzen	Betondeckung			Tiefe der nicht verfärbten Zone					
		a	c	e	b	$\frac{b}{a}$	d	$\frac{d}{c}$	f	$\frac{f}{e}$
-	-	mm	mm	mm	mm	-	mm	-	mm	-
1	eine äußere Litze st	20	8	24	20	1,0	7	0,9	22	0,9
2	eine äußere Litze st	20	8	23	12	0,6	6	0,75	8	0,35
3	beide äußeren Litzen m	23	8	22	10	0,45	8	1,0	9	0,4
4	Kontaktstelle st	20	8	21	9	0,45	5	0,6	14	0,7
5	Kontaktstelle st	20	8	20	9	0,45	8	1,0	20	1,0
6	Kontaktstelle st	20	10	20	45	2,25	5	0,5	45	2,25
7	eine äußere Litze m	21	9	18	7	0,35	8	0,9	3	0,2
8	innere Litzen l, Kontaktst. st	20	13	20	7	0,35	7	0,55	2	0,1
9	eine äußere Litze m	22	7	20	5	0,25	6	0,85	12	0,6
10	-	23	10	20	6	0,25	7	0,7	5	0,25
-	-	≥20	-	-	-	≤2,25	-	≤1,0	-	-

Kontaktstelle: 1) Berührung zwischen Litze und Bügel
2) Bereich eines Holzleistennagels

Legende



	Betondeckung	Tiefe der nicht verfärbten Zone
unten	a	b
seitlich	c	d
oben	e	f

Korrosion:

keine : k
leichte : l
mittlere: m
starke : st

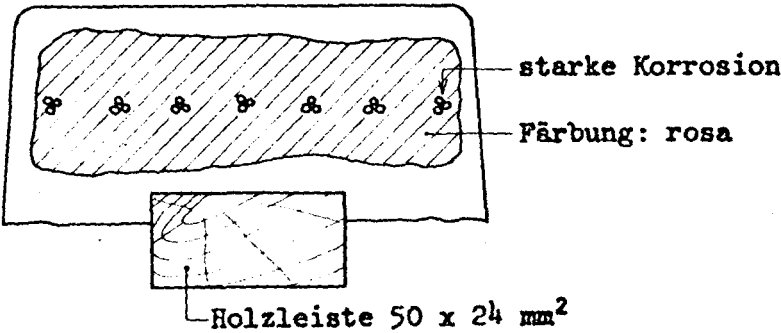
Träger über dem Klubraum (Erdgeschoß)

Untersuchung einzelner Querschnitte, M. 1 : 2 (Phenolphthaleintest)

Querschnitt
lfd.Nr.

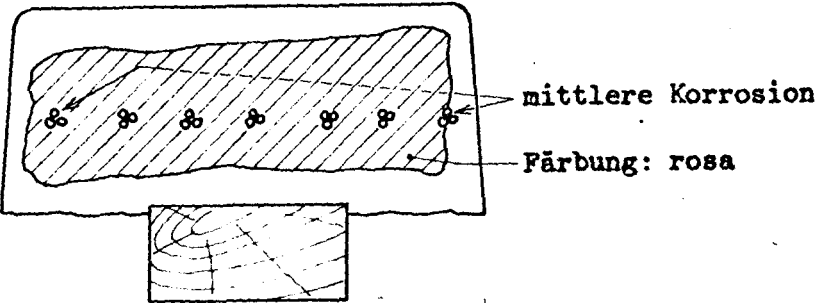
2

25 cm



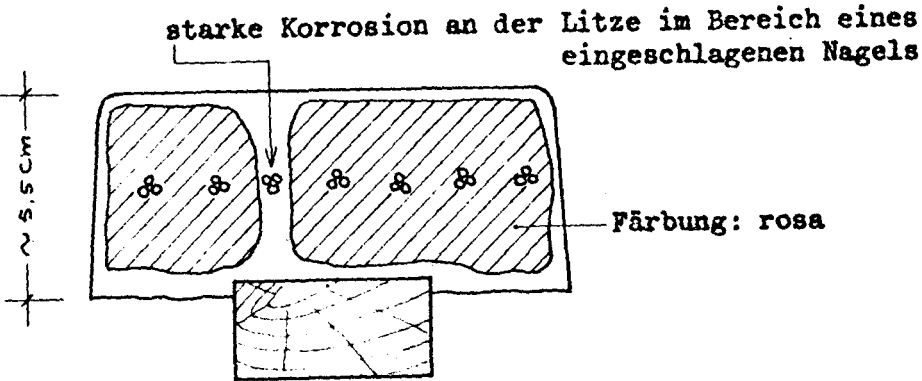
3

75 cm



~ 12,5 cm

6



Teil 3: Untersuchungsbericht TSZ 3

Untersuchungsobjekt: ESTO-Balkenträger, der aus einem Stall-
anbau des Herrn A. Wiedel in Binder bei
Wolfenbüttel entnommen wurde.

Der Bericht TSZ 3 umfaßt 6 Blatt und
2 Anlagen.

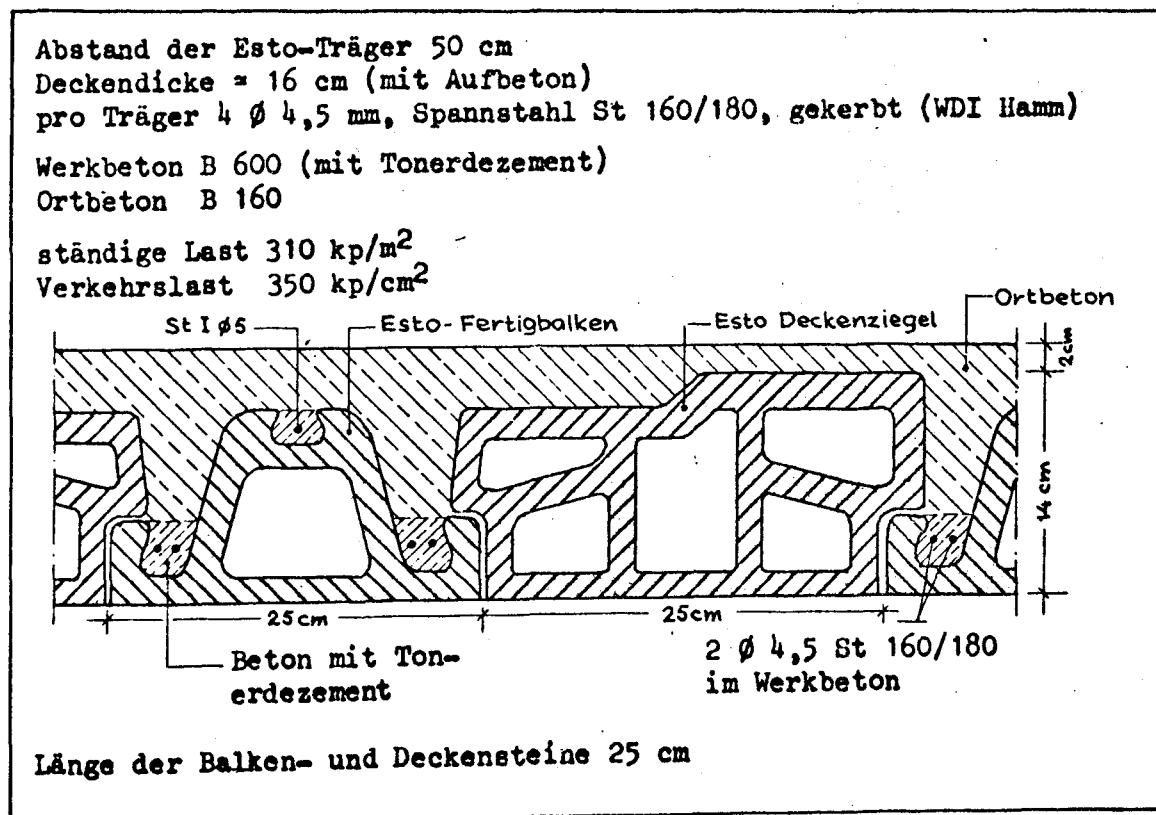
1. Untersuchungsmaterial1.1 Probenausbau

Im Jahre 1958 wurde in einem Stallanbau im Orte Binder eine Esto-Fertigdecke eingebaut. Lieferwerk war die Firma H. Diekmann KG, Arpke. Wie aus dem Verzeichnis zum Erlaß des Niedersächsischen Ministers der Finanzen - 404 325 - vom 16.4.1963 hervorgeht, waren die vorgespannten Deckenträger unter Verwendung von Tonerdezement hergestellt worden. Auf Antrag des Kreisbauamtes des Landkreises Wolfenbüttel fand am 28.4.1964 eine Ortsbesichtigung statt, bei der vereinbart wurde, einen Balkenträger auszubauen und auf Spannstahlkorrosion zu untersuchen. Der Probenausbau erfolgte am 2.6.1964.

1.2 Beschreibung des Bauwerkes und des Esto-Fertigbalkens

Der Stallanbau diente als Viehstall und Lagerraum. Über dem Stall lagerten Heu und Stroh.

Die Spannweite der Esto-Fertigträger betrug ungefähr 3,60 m. In der Tafel 1 sind der Querschnitt durch die Esto-Decke und weitere Angaben des Zulassungsbescheides für vorgespannte Esto-Decken wiedergegeben. Fotografien der Decke im Bereich des ausgebauten Deckenstreifens enthält Tafel 2.

T a f e l 1

T a f e l 2: Entnahme des Esto-Trägers aus der Stalldecke

Bild 1:

^{oben}
Blick von ^{oben} auf die Decke, aus
welcher der Deckenstreifen
mit dem Esto-Träger entnommen
wurde.

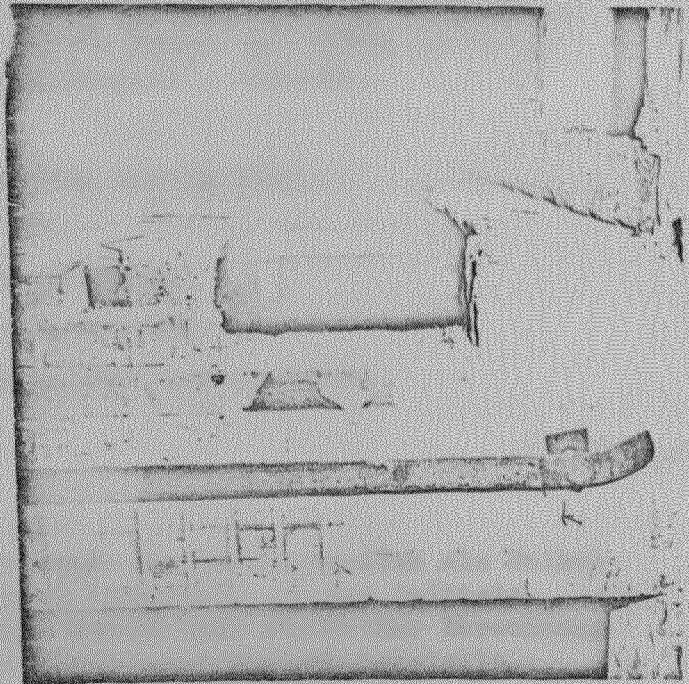
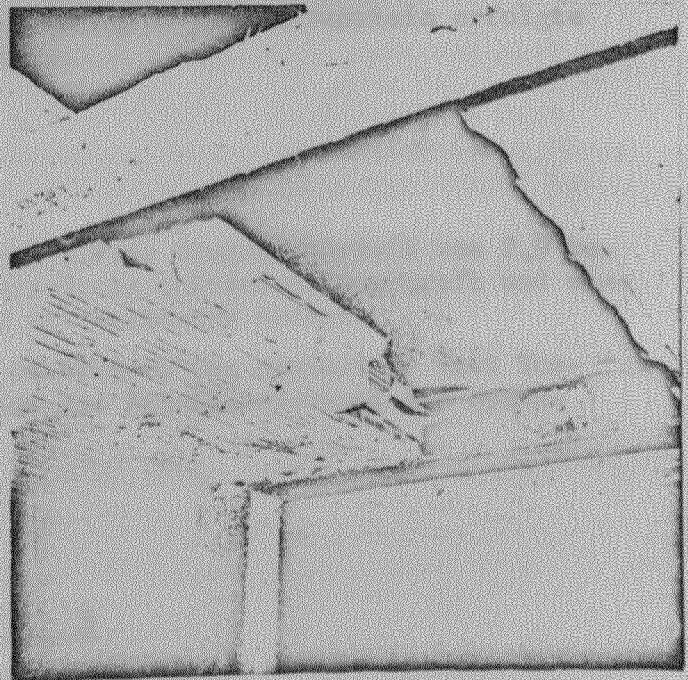


Bild 2:

Unter der Decke ist in Feld-
mitte die als Sicherungsmaß-
nahme eingebaute Unterstützung
zu erkennen.



2. Umfang der Untersuchungen

2.1 Der Nachweis, daß der Werkbeton der Esto-Fertigbalken unter Verwendung von Tonerdezement hergestellt war, wurde durch Röntgenfeinstrukturuntersuchungen im Institut für Steine und Erden der Bergakademie Clausthal - Technische Hochschule - erbracht.

2.2 Folgende Prüfungen wurden im Institut durchgeführt:

1. Tragfähigkeit und Durchbiegung
2. Betonüberdeckung der Spannstähle
3. Untersuchung der Spannstähle auf Korrosion
4. Phenolphthaleintest

Zur Bestimmung der Tragfähigkeit wurde der Deckenstreifen als Balken auf 2 Stützen gelagert und durch Streifenlasten in den Drittelpunkten beansprucht. Das zulässige Moment laut statischer Berechnung wurde dem im Versuch ermittelten Bruchmoment gegenübergestellt.

Die Spanndrähte wurden auf mehr als 50 % ihrer Länge freigelegt und auf Korrosion untersucht. In 10 Fugen zwischen den 25 cm langen Balkensteinen und in 9 Querschnitten durch den Balkenstein erfolgte die Prüfung mittels Phenolphthalein.

3. Untersuchungsergebnisse

Bei der Tragfähigkeitsprüfung ergab sich eine Bruchsicherheit von 2,9 bezogen auf die nach der statischen Berechnung zulässigen Querkraft und eine Bruchsicherheit von 3,6 bezogen auf das zulässige Moment.

In Tafel 3 sind die Abmessungen der im Bereich des Werkbetons (mit Tonerdezement) liegenden Balkensteine und die Betonüberdeckung der Spannstähle aufgeführt.

T a f e l 3

(siehe folgendes Blatt)

T a f e l 3

untere Dicke der Tonziegelschale	15 - 18 mm
seitliche Dicke der Tonziegelschale	20 - 24 mm
Höhe des Tonerdezementmörtels	33 - 40 mm
Breite des Tonerdezementmörtels	~ 40 mm
untere Betondeckung	10 - 14 mm
seitliche Betondeckung, innen	6 - 12 mm
seitliche Betondeckung, außen	7 - 17 mm
Tiefe der nicht verfärbten Zone bezogen auf die Betondeckung	0,2-1,3

Der Tonerdezementbeton besaß ein dichtes Gefüge. Der darüber befindliche Ort beton war porös und hatte kaum Verbund mit dem Werksbeton. In den Fugen zwischen den Balkensteinen konnte CO₂ offenbar bevorzugt eindringen. Die Tiefe der beim Phenolphthaleintest nicht verfärbten Zone war hier erheblich größer als im durch die Tonziegelschale geschützten Beton. Ungefähr 2 cm beidseitig der Balkenstiefuge zeigten die Spannstähle fast durchweg mittlere Korrosion. Im Bereich der Balkensteine wiesen die Spannstähle nur vereinzelt punktförmige, leichte Korrosionserscheinungen auf - siehe Anlage 2 und Tafel 4 -.

T a f e l 4

siehe folgendes Blatt

T a f e l 4: Fotografien einzelner Probestücke nach dem Phenolphthaleintest

Bild 3:

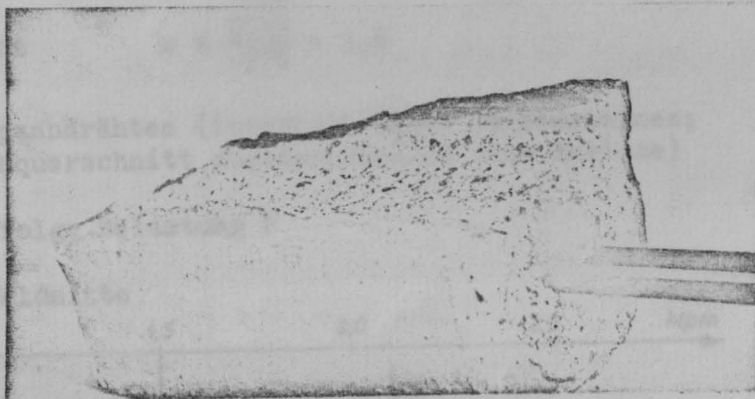
Bruchquerschnitt in Mitte
Balkenstein:
Die Spannstähle liegen noch
im verfärbten Bereich - keine
Korrosion



42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54

Bild 4:

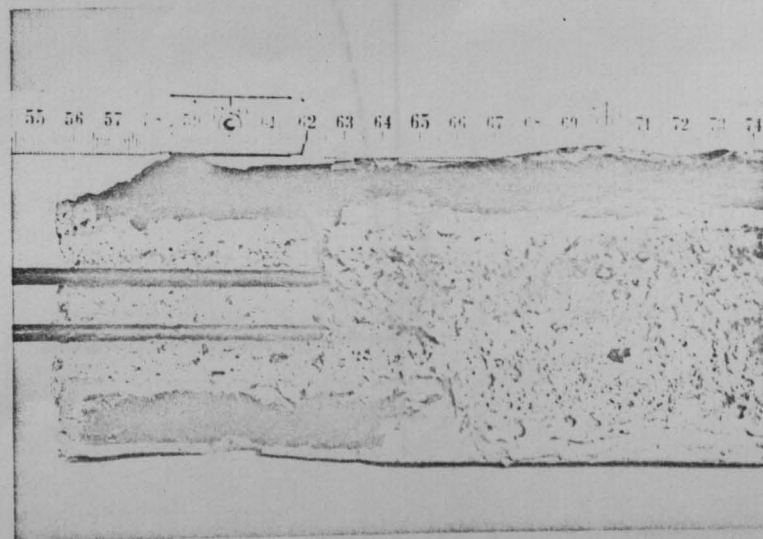
Bruchquerschnitt in der Fuge
zwischen zwei Balkensteinen:
Die Spannstähle liegen im
nicht verfärbten Bereich
- Korrosion auf 2 - 3 cm
beidseits der Fuge



OLIN 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57

Bild 5:

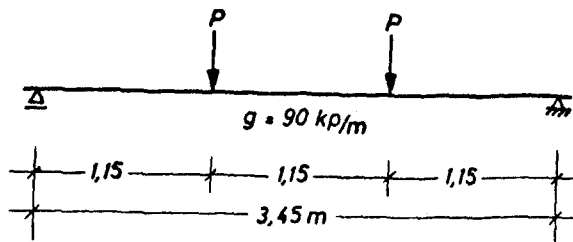
Draufsicht auf das Ende eines
Balkensteines:
Der nicht verfärbte Randbe-
reich wird zur Fuge hin
größer - beidseits der Fuge
Korrosion. In der rechten Bild-
hälfte ist der stärker gefärb-
te Aufbeton zu erkennen
(kein Tonerdezement).



55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74

1. Tragfähigkeitsprüfung

Belastungsanordnung

Länge 3,65 m
Breite = 40 cm

zulässige Beanspruchungen laut Typenberechnung

$$M_{\text{zul}} = 1.150 \text{ kpm/m}; \text{ pro Fertigträger } M_{\text{zul}} = 575 \text{ kpm}$$

$$Q_{\text{zul}} = 1.260 \text{ kp/m}; \text{ pro Fertigträger } Q_{\text{zul}} = 640 \text{ kp}$$

Beanspruchungen im Bruchzustand

$$M_{\text{Bruch}} = 2089 \text{ kpm}$$

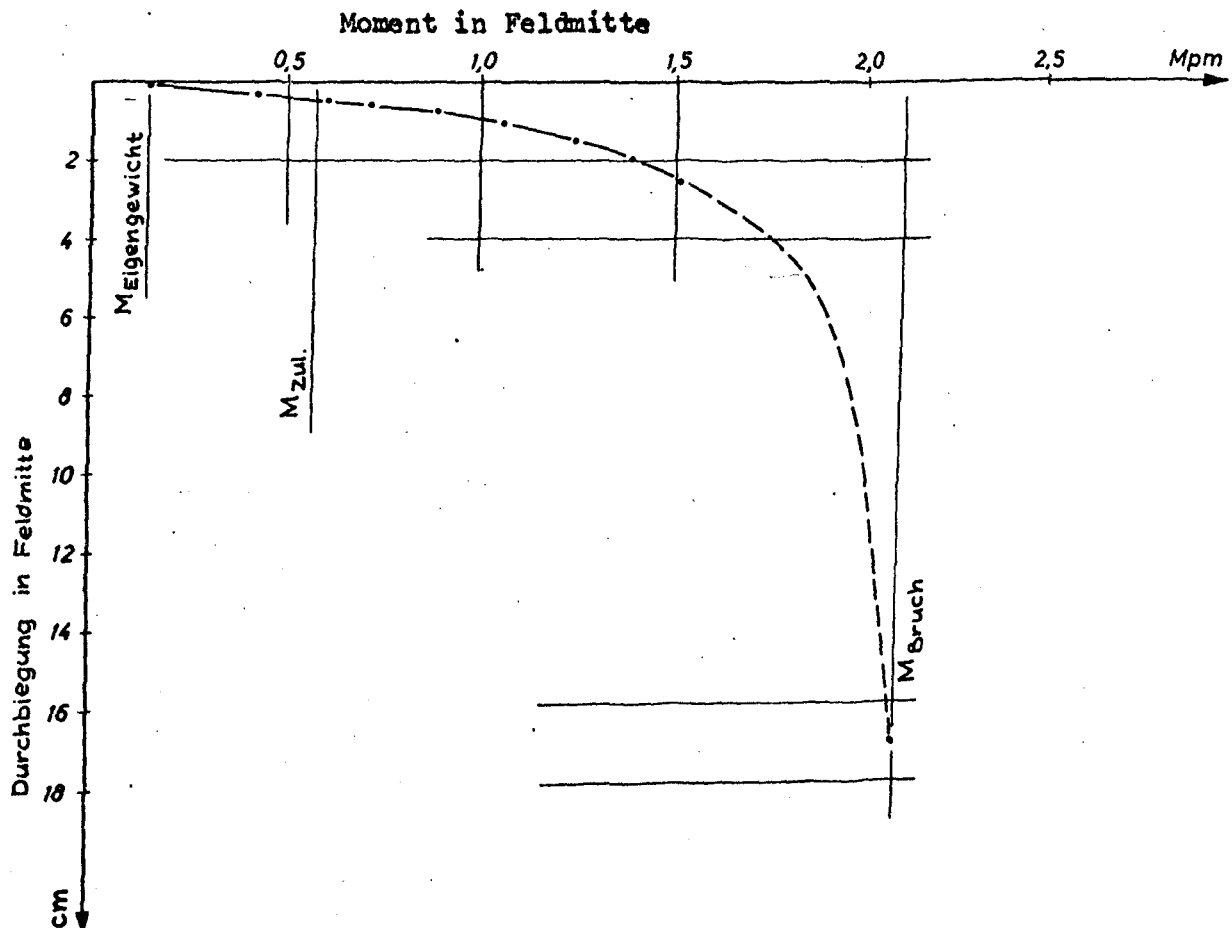
$$Q_{\text{Bruch}} = 1855 \text{ kp}$$

Bruchsicherheit: für Querkraft $\nu = \frac{1855}{640} = 2,9$

für Moment $\nu = \frac{2089}{575} = 3,6$

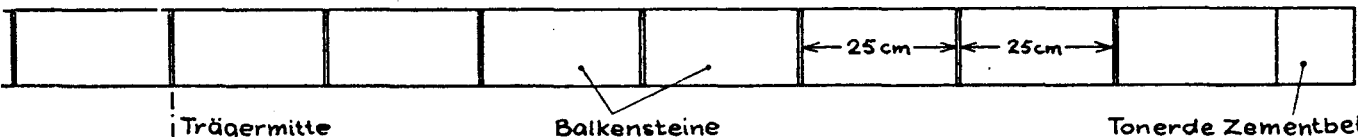
Bruchursache: Bruch von 2 Spanndrähten (innerhalb eines Balkensteines;
Stahl im Bruchquerschnitt augenscheinlich ohne Anrisse)

2. Durchbiegung in Feldmitte infolge Belastung P



3. Phenolphthaleintest

In der Zusammenstellung sind die Prüfergebnisse für eine Hälfte des Esto-Fertigbalkens zusammengestellt. Die Prüfungen an der anderen Hälfte führten zu analogen Ergebnissen.

untersuchter Querschnitt																		
Fugenbreite zwischen den Balkensteinen in mm (unter den Spannstählen gemessen)		-	0,8	-	1,0	-	1,5	-	2,5	-	1,5	-	3,0	-	3,0	-	-	-
Fuge voll Mörtel gelaufen 1)		-	n	-	v	-	t	-	t	-	n	-	v	-	n	-	v	-
Betondeckung in mm	unten a	-	11	14	12	-	11	-	11	12	11	-	12	11	13	13	14	-
	seitlich b 2)	6	8	10	9	-	9	-	9	8	9	10	-	7	8	12	10	-
Tiefe der nicht ver- färbten Zone in mm	unten c	3	11	16	14	-	14	-	11	4	12	-	7	3	6	3	3	-
	seitlich d 2)	2	8	-	10	-	10	-	9	3	8	4	-	3	6	2	5	-
Verhältniswerte	c : a	-	1,0	1,1	1,2	-	1,3	-	1,0	0,3	1,1	-	0,6	0,3	0,5	0,2	0,2	-
	d : b	0,3	1,0	-	1,1	-	1,1	-	1,0	0,4	0,9	0,4	-	0,4	0,7	0,2	0,5	-
Korrosion an den Spannstählen 3)		l	l	l	l	-	m	-	m	-	l	-	m	k	l	k	l	l

1) vollständig v
teilweise t
nicht n

2) angegeben sind die ungünstigsten Werte,
bei fehlender Prüfung ist ein - eingefügt.

3) keine k
leichte l
mittlere m

